

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

**Návrh řezných podmínek při obrábění
výsekových nástrojů**

**Proposal cutting conditions during flexible
dies machining**

Student: Bc. Martin Michalák

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Marek Sadílek, Ph.D.

Ostrava 2015

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Martin Michalák**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Specializace: 20 Strojírenská technologie
Téma: **Návrh řezných podmínek při obrábění výsekových nástrojů**
Proposal Cutting Conditions During Flexible Dies Machining

Zásady pro vypracování:

1. Rozbor stávající technologie výroby výsekových nástrojů.
2. Rozbor geometrie a stavu břitů výsekových nástrojů po obrobení.
3. Návrh nové technologie obrábění výsekových nástrojů.
4. Zhodnocení povrchové úpravy břitů výsekových nástrojů.
5. Závěry pro realizaci v praxi.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] SADÍLEK, M. *Nekonvenční metody obrábění I*. VŠB – TU Ostrava, 2009, 152 s., ISBN 978-80-248-2107-8.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. 256 s. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [3] SADÍLEK, M.; KOSAŘ F. *Řešené praktické příklady v CAM systému Mastercam*. VŠB – TU Ostrava, 2011, 169 s. Dostupné na: http://www.346.vsb.cz/studijni_literatura.html.


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Marek Sadílek, Ph.D.**

Datum zadání: 12.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015




Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu

V Ostravě: 18. 5. 2015

..... Michalák
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35, užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních a představení a užití díla školního a § 60 - školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská- technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB - TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v ústřední knihovně VŠB - TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB - TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 a autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 18. 5. 2015


podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Martin Michalák

Adresa trvalého bydliště: Mozartova 1799, Frýdek - Místek, 738 01

Anotace diplomové práce

MICHALÁK, M. Návrh řezných podmínek pro obrábění výsekových nástrojů: Diplomová práce, Ostrava: Vysoká škola báňská Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, 2015, 55 s, vedoucí: doc. Ing. Marek Sadílek, PhD.

Diplomová práce se zabývá studiem návrhu řezných podmínek pro obrábění výsekových nástrojů. V úvodu teoretické části jsou uvedeny firmy, které se zabývají výsekovými nástroji. Poté je popsán proces výroby výsekových nástrojů, rozdělení výsekových nástrojů a výroba výsekových plechů. Následuje popis procesu chemického obrábění v lázni Ni. Závěr teoretické části uvádí typy fréz, které se používají pro obrábění a postup obrábění výsekové plechu. Experimentální část popisuje vzorky, které byly určeny pro vyhodnocení a provádění experimentů. Jsou uvedeny parametry vzorků, řezné podmínky (řezná rychlost, otáčky, posuv za minutu, posuv na zub). Následuje vyhodnocená vizuální kontrola vzorků a kontrola geometrické přesnosti vzorků. Vizuální kontrola vzorků byla vyhodnocena pod stereomikroskopem DM 143 FBGG z vnější strany vzorků a z vnitřní strany vzorků. Výsledky vizuální kontroly vzorků byly zpracovány v programu MotiC Image Plus 2. 0. ML. Vizuální kontrola vzorků se provádí z důvodu vzniků ořepů při obrábění. V závěru vizuální kontroly vzorků je provedeno vyhodnocení nejlepšího a nejhůře vyhodnoceného vzorku. Po vyhodnocení vizuální kontroly vzorků následuje kontrola geometrické přesnosti vzorků. Kontrola geometrické přesnosti byla vyhodnocena pod optickým profilometrem MircoProf FRT. Výsledky vyhodnocení vzorků byli získány v programu „Acquire“, zpracování vzorků bylo provedeno v programu SPIP 6. 2. 6.. Kontrola geometrické přesnosti byla vyhodnocena na základě vizualizace střižné hrany, 3D modelu profilu vzorku a mapy výškových nerovností profilu vzorku. V závěru kontroly geometrické přesnosti je provedeno vyhodnocení nejlepšího a nejhůře vyhodnoceného vzorku. Závěr diplomové práce zahrnuje zhodnocení výsledků provedených experimentů, návrh doporučení pro obrábění vzorků a návrh nových fréz.

Klíčová slova: Výsekové nástroje, výsekové plechy, magnetické válce, fréza

Annotation of Graduation thesis

MICHALÁK, M. Proposal cutting conditions during flexible dies machining: Diplomová práce, Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Department of Mechanical Technology, 2015, 55 pages, Graduation thesis: doc. Ing. Marek Sadílek, PhD.

Graduation thesis deals with proposal cutting conditions for machine flexible dies. The introduction of the theoretical part listed companies which one with deals flexible dies. After is description the process of production of flexible dies, division flexible dies. The follow of describes the process of chemical machining with nickel. End of theoretical part parametr milling cutter, which used for milling and production milling flexible sheet. The experimental part describes the samples which use do and evaluate experiment. It's said dimension the samples, cutting conditions (cutting speed, speed, shit for minute, shit for tooth). After is listed evaluate visual check and check geometry accuracy. Visual check the samples was evaluate under stereomicroscope DM 143 FBGG from out page the samples and from inside pages the samples. The result visual check the samples were processed in program Motic Image Plus 2. 0. ML. Visual check the samples with performs with reason from formation defects and track after milling cutter. End of theoretical part the samples is done evaluate best and worst the samples. After evaluation visual check the samples followed me check geometry accuracy. Check geometry accuracy the samples was evaluate below optical profilometr MircoProf FRT. The results evaluate the samples was get in program Acquire, process the samples was done in program SPIP 6. 2. 6.. Check geometry was evaluated to based visualition shear edge, 3D model profile sample and maps height inequality. End of check geometry accuracy is done evaluate best and worst the samples. The end of graduation thesis comprise valorize result conducted experiments, proposal recommendation for working samples and proposal new milling cutting

Key words: flexible dies, flexible shet, magnetic cylinder milling cutter

Obsah

| | |
|---|-----------|
| Seznam použitého značení..... | 3 |
| 1. Úvod | 4 |
| 2. Firmy zabývající se výsekovými nástroji..... | 5 |
| Eson, s. r. o..... | 5 |
| Eluvio, s. r. o..... | 5 |
| Karel Kaňák, s. r. o. | 5 |
| 3. Výsekové nástroje | 6 |
| 3. 1. Technologie výroby výsekových nástrojů | 6 |
| 3. 2. Rozdělení výsekových nástrojů..... | 7 |
| 3. 3. Plošné výsekové nástroje | 7 |
| 3. 4. Rotační výsekové nástroje..... | 8 |
| 3. 5. Plošné výsekové komponenty | 8 |
| 4. Výsekové plechy | 9 |
| 4. 2. Montáž výsekového plechu..... | 10 |
| 5. Výroba výsekových plechů..... | 14 |
| 5. 1. Chemické obrábění..... | 14 |
| 5. 2. Rozdělení chemických metod obrábění | 15 |
| 5. 3. Chemické prostřihování a chemické rozměrové leptání | 15 |
| 6. Použitý nástroj pro obrábění..... | 20 |
| 7. Postup obrábění výsekového plechu | 20 |
| 8. Experimentální část | 20 |
| 8. 1. Charakteristika vzorků | 20 |
| 8. 2. Metodiky a technické parametry | 21 |
| 8. 3. Řezné podmínky..... | 22 |
| 9. Vizuální kontrola a kontrola geometrické přesnosti vzorků | 23 |
| 9. 1. Vizuální kontrola vzorků..... | 24 |
| 9. 1. 1. Obrázky z vyhodnocení vzorků..... | 24 |
| 9. 1. 2. Vyhodnocení vzorků | 26 |
| 9. 1. 3. Tabulkové vyhodnocení vzorků | 28 |
| 9. 1. 4. Vyhodnocení vizuální kontroly | 31 |
| 9. 2. Kontrola geometrické přesnosti vzorků | 32 |

| | |
|---|-----------|
| 9. 2. 1. Obrázky z vyhodnocení vzorků | 32 |
| 9. 2. 2. Vyhodnocení vzorků | 34 |
| 9. 2. 3. Dosažené výsledky | 36 |
| 9. 2. 4. Vyhodnocení kontroly geometrické přesnosti | 37 |
| 10. Návrh doporučených opatření pro obrábění vzorků..... | 38 |
| 11. Návrh dalších druhů fréz pro obrábění..... | 43 |
| 12. Závěr | 45 |
| 13. Seznam použité literatury | 46 |
| 14. Seznam příloh..... | 48 |

Seznam použitého značení

| Značka | Veličina | Jednotka |
|----------------|------------------------------------|------------|
| Flexibled dies | Výsekové nástroje | [-] |
| FXD - P | Nástroje $90^\circ \div 80^\circ$ | $[\circ]$ |
| FXD - P | Nástroje $80^\circ \div 75^\circ$ | $[\circ]$ |
| FXD - C | Nástroje $120^\circ \div 50^\circ$ | $[\circ]$ |
| CNC | Computer Numeric Control | [-] |
| NC | Numeric Control | [-] |
| KBN | Kubický nitrid boru | [-] |
| D | Průměr frézy | $[mm]$ |
| L | Délka vzorku | $[mm]$ |
| H | Výška vzorku | $[mm]$ |
| t | Tloušťka vzorku | $[mm]$ |
| $D_{efek.}$ | Efektivní průměr frézy | $[mm]$ |
| $Z_{frézy}$ | Počet zubů frézy | [-] |
| v_c | Řezná rychlost | $[m/min]$ |
| β | Úhel záběru | $[\circ]$ |
| a_p | Hloubka obráběné vrstvy | $[mm]$ |
| f_{min} | Posuv za minutu | $[mm/min]$ |
| $v_{efekt.}$ | Efektivní řezná rychlost | $[m/min]$ |
| n | Otáčky | $[mm]$ |
| f_z | Posuv na zub | $[mm/zub]$ |
| ↓ | Nesousledné frézování | [-] |
| ↑ | Sousledné frézování | [-] |
| Ra | Drsnost povrchu | $[\mu m]$ |
| Al | Hliník | [-] |
| Mg | Mangan | [-] |
| Si | Křemík | [-] |
| Cu | Měď | [-] |
| Ti | Titan | [-] |

1. Úvod

Diplomová práce je zhotovena ve spolupráci s nejmenovanou firmou, která mi umožnila náhled do výroby výsekových nástrojů. V nejmenované firmě byli znalosti doplněny o ukázku obrábění výsekových plechů a výrobu výsekových nástrojů.

Pro experimentální část diplomové práce bylo určeno 12 příkladových vzorků dodaných nejmenovanou firmou. Tyto příkladové vzorky byly vyhodnoceny na základě experimentální části. Výsledkem experimentální části je návrh řezných podmínek a zvolení vhodného způsobu obrábění včetně návrhu doporučených opatření pro obrábění. Výsledky vyhodnocené na základě experimentů mají vylepšit - upravit výslednou řeznou hranu břitu a také zefektivnit obrábění výsekového nástroje a zabránit vzniku otřepů po obrábění.

Diplomová práce je členěna do teoretické části a experimentální části. V teoretické části je náhled do výroby firem, jejíž výrobním programem je výroba výsekových nástrojů. Následuje charakteristika výsekových nástrojů, jejich rozdělení a výroba výsekových plechů včetně ukázky montáže výsekových plechů na výsekový stroj. Dále jsou uvedeny nástroje, které se používají pro obrábění a postup obrábění výsekových plechů. V závěru teoretické části je popsán proces chemického obrábění v lázni Ni, který se používá pro úpravu výsekových plechů.

V experimentální části diplomové práce jsou charakterizovány příkladové vzorky určené pro experimentální část. Jsou zde také uvedeny řezné podmínky a způsoby obrábění vzorků. Hlavní částí experimentální části je vyhodnocení vzorků pomocí vizuální kontroly a kontroly geometrické přesnosti. Vyhodnocení vzorků je rozděleno do několika částí: jako první jsou uvedeny měřicí přístroje, na kterých bylo prováděno měření. Následně jsou uvedeny příkladové obrázky z provedených měření a vyhodnocení měření vzorků pomocí vizuální kontroly a kontroly geometrické přesnosti. Závěrem je také důležité dodat, že u obou vyhodnocených kontrol vzorků jsou uvedeny příkladové snímky. Zbývající počet vyhodnocených snímků je uveden v příloze diplomové práce a na CD.

V závěru diplomové práce je uvedeno zhodnocení vzorků, vyhodnocení výsledků vizuální kontroly, kontroly geometrické přesnosti, návrh doporučení včetně úpravy řezných podmínek a návrh nových fréz.

2. Firmy zabývající se výsekovými nástroji

Eson, s. r. o.

Byla založena v roce 2000 a zabývá výrobou výsekových nástrojů. Výroba zahrnuje výsekové nástroje, které jsou dodávány do oblasti obalového průmyslu a samolepicí etikety grafických a flexibilních obalů, které jsou zpracovány pro tiskařský průmysl. K výrobě jsou využívány nejmodernější technologie a CNC stroje. Kromě výroby výsekových nástrojů se také vyrábí horkoražební formy, magnetické válce, tiskové válce, rotační válce, offsetové válce [1].

Eluvio, s. r. o.

Byla založena v roce 2001 a současná výroba je rozdělena do dvou kategorií výroby. První část výroby zahrnuje výsekové nástroje pro polygrafický průmysl a dále pak magnetické válce, tiskové válce a výsekové válce s přesností $\pm 2 \mu m$. Druhá část výroby zahrnuje výrobu samolepicích etiket pro použití ve všech průmyslových odvětvích [2].

Výsekové nástroje jsou vyráběny podle několika typů jejich výroby a velikosti úhlu. Mohou to být výsekové nástroje typu FXD - P, FXD - P a FXD - C. Ve všech případech se výsekové nástroje používají pro samolepicí materiály typu Vellum, Primecoat, Thermal TOP, Thermal ECO, kartony a metalizované papíry. Tyto různé typy výsekových nástrojů se liší úhlem břitu od 50° až po 120° [2].

Karel Kaňák, s. r. o.

Byla založena v roce 1991 a vyrábí výsekové nástroje, jako jsou plné lepenky, vlnité lepenky, výlupové nástroje pro horní a dolní výlup, rozlamovací nástroje pro HD rozlam, razící štočky (slepotisk, Braillovo písmo). Výroba zahrnuje širokou oblast výroby, do které patří poradenství pro různé oblasti průmyslu [3].

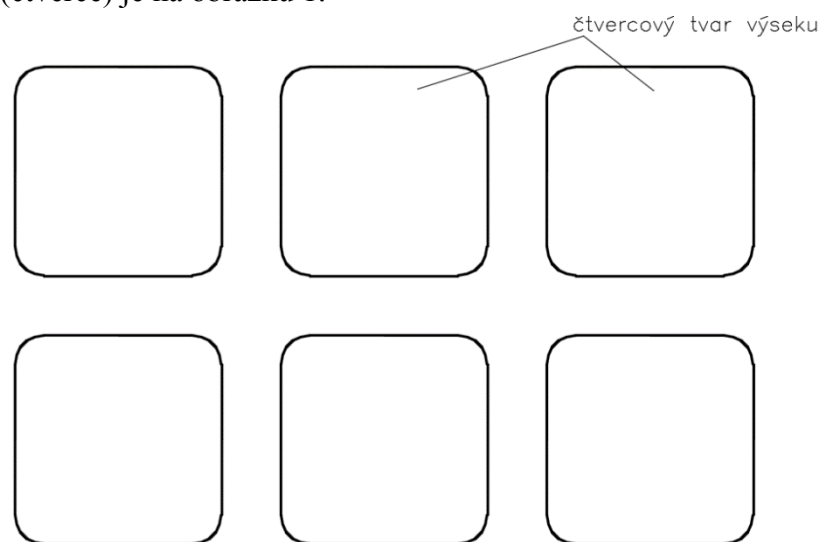
3. Výsekové nástroje

3. 1. Technologie výroby výsekových nástrojů

Výroba výsekových nástrojů patří mezi moderní technologie, které se v dnešní době na trhu uplatňují. Každá firma má odlišnou výrobu výsekových nástrojů, kterými se od ostatních firem liší.

Výroba výsekových nástrojů se provádí podle tohoto způsobu výroby:

a) podle požadavků zákazníka se tvar výseku (čtverce, obdélníku, kruhu nebo jiného tvaru) nakreslí v kreslicím programu s přesnými rozměry v sérii. Následně záleží na požadavku zákazníka, v jaké vzdálenosti se výseky nacházejí, kolik výseků je nutné provést. Příklad tvaru výseku (čtverce) je na obrázku 1.



Obrázek 1: Příklad čtvercového tvaru výseku

b) tvar výseku se podle obrázku 1 přepoše do CNC centra. Laser na folii výsekového plechu přenesení tvar výseku. Po dokončení procesu je tvar výseku přenesen na výsekový plech.

c) proces chemického obrábění v lázni Ni. U tohoto procesu je tvar výseku určený pro obrábění vyleptán. Výchozí tvar výseku má po chemickém obrábění v lázni Ni tvar hranolu.

d) před obrábění je tvar výsekového plechu, který byl nakreslen v kreslicím programu, převeden do CAM programu. V CAM programu je naprogramována dráha obrábění a vytvořen NC kód.

e) proces obrábění výsekového plechu. Pro obrábění výsekového plechu se používá CNC centrum a řezný nástroj - fréza zvlášť pro hrubování a obrábění na čisto.

f) výroba výsekového plechu probíhá, takže z profilu tvaru hranolu řezný nástroj - fréza zhotoví trojúhelníkový tvar. Trojúhelníkový tvar se používá pro výsek na magnetických válcích.

3. 2. Rozdělení výsekových nástrojů

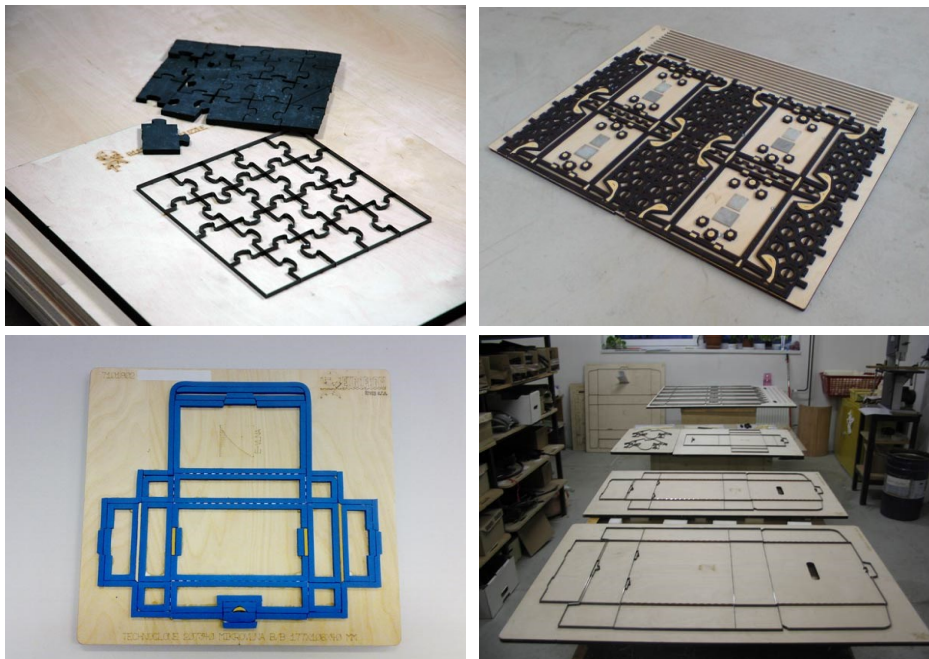
Výsekové nástroje se rozdělují na tyto kategorie: [4]

- a) plošné výsekové nástroje
- b) rotační výsekové nástroje
- c) plošné výsekové komponenty

3. 3. Plošné výsekové nástroje

Plošné výsekové nástroje se používají v kartonážích, tiskárnách a průmyslových odvětvích, kde se používají pro výsek materiálů určitých tvarů [4].

Proces výroby plošného výsekového nástroje je založen na principu zhotovení konstrukce obalu pomocí speciálního softwaru. Probíhá zhotovení funkčního vzorku na řezacím ploteru, následné pálení laserem, osazování vypálené drážky noži a konečné olepování gumami, zabalení a transport [4].



Obrázek 2: Plošné výsekové nástroje [4]

3. 4. Rotační výsekové nástroje

Rotační výsekové nástroje se používají pro výrobu obalů výsekových nástrojů. Skládají se ze 2 skořepin, které jsou uchycené na rotačních válcích. Rozdělují se na pomocné výsekové nástroje, na složité víceřadé výsekové nástroje a vícenásobné celoprodukční výsekové nástroje [4].

Rozlišují se tyto typy rotačních výsekových nástrojů:

- a) výsekové nástroje rotační částečné - používají se pro vykrajování fragmentu (části) obalů.
- b) výsekové nástroje úplné - umožňují vykrajovat obaly z vlnité lepenky. Používají se převážně pro obaly s velkými rozměry [4].



Obrázek 3: Rotační výsekové nástroje [4]

3. 5. Plošné výsekové komponenty

Plošné výsekové komponenty představují konstrukčně složitější typ výrobku v oblasti plošných výsekových nástrojů. Jedná se o speciální výsekové nástroje, které se používají u složitých výsekových automatů [4].

Skládají se z několika částí. První částí tvoří standardní plošná výseková forma. Další dvě části tvoří horní výlup a spodní výlup. Tyto dvě části se používají u automatických výsekových nástrojů, kde slouží k vylupování a odstraňování zbytkových a nepotřebných částí při vysekávání různých tvarů z lepenkových materiálů [4].



Obrázek 4: Plošné výsekové komponenty [4]

4. Výsekové plechy

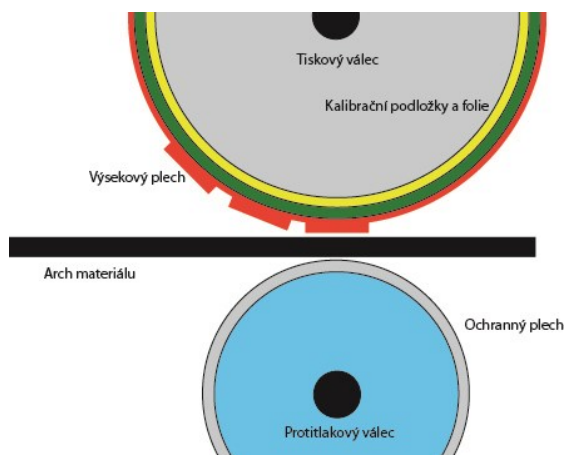
Výsekové plechy se vyrábí s použitím moderních technologií, na základě kterých se dosahuje vysoké přesnosti výroby a minimální tolerance [5].

Vyznačují se také tím, že jsou velmi pevné a pružné. Pro výrobu výsekových plechů se používají speciální CNC centra. Při výrobě výsekových plechů se realizují libovolné tvary výsekových plechů a ve vysoké kvalitě konečného výsledku [5].

Postup výroby výsekového plechu lze rozdělit do několika bodů [5].

Nejprve je nutné při výrobě výsekového plechu provést montáž ochranného plechu na protitlakový válec. Je důležité dodržet pravidlo, že začátek ochranného plechu by měl být nalepen od 2 mm do 3 mm od hrany válce. Provádí se to z důvodu kvalitního přilepení okraje plechu [5].

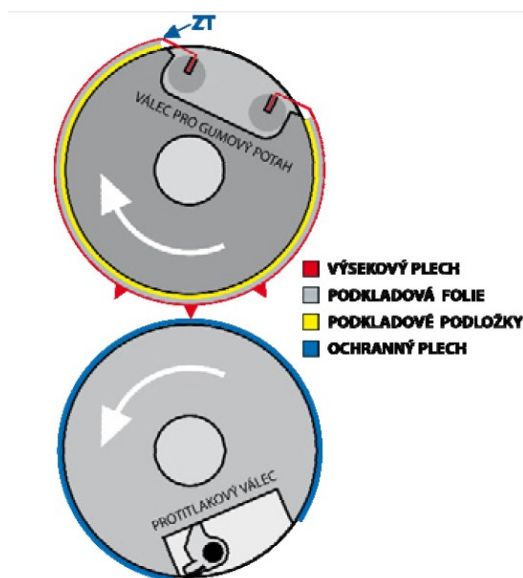
Ochranný plech je umístěn na celém formátu protitlakového válce nebo podle plochy břitů na výsekovém plechu. Ochranný plech je před montáží nutné upravit podle požadavků zákazníka. Protitlakový válec musí být zbaven nečistot a mastnoty. Po přilepení je důležité celou plochu ochranného plechu přitlačit k protitlakovému válci pro lepší přilnavost. Ochranný plech je opatřen samolepicí vrstvou, takže jeho montáž je velmi snadná [5].



Obrázek 5: Postup výroby výsekové plechu [5]

V případě použití samolepicích materiálů není potřeba nalepit ochranný plech na protitlakový válec, protože mezi břity výsekového plechu a povrchem protitlakového válce se nachází nosný liner samolepicího materiálu, který zároveň slouží jako ochrana protitlakového válce [5].

Výroba výsekového plechu pokračuje demontáží ofsetového potahu a tiskové desky. Následuje montáž výsekového plechu na pozici ofsetového potahu. Výsekový plech se upne na pozici ofsetového potahu buď na tiskové, nebo lakovací věži. Upínání výsekového plechu se provádí pomocí rychloupínacích lišt, upínacích adaptérů nebo za drážkovanou hranu na plechu [5].



Obrázek 6: Montáž výsekového plechu na místo ochranného plechu [5]

4. 2. Montáž výsekového plechu

Postup montáže výsekového plechu na výsekový stroj lze popsat v několika bodech:

a) upevnění vysoce kvalitní ochranný plech na protitlakový válec, ochranný plech má ze spodní strany oboustrannou lepicí pásku [6]



Obrázek 7: Upevnění ochranného plechu na protitlakový válec [6]

b) demontuje se tisková guma a tisková deska. Na výsekový plech se namontují upínací lišty stejně jako na ofsetovou gumu. Výsekový plech se s lištami se založí na jedné straně.



Obrázek 8: Demontáž tiskové gumy a tiskové desky [6]

c) výsekový plech se podloží podkladovou fólií s kalibrovanými podložkami a obtáhne se kolem tiskového válce. Následně se založí se druhá upínací lišta do zámku [6].



Obrázek 9: Podložení výsekového plechu podkladovou folií [6]

d) výsekový plech se napne na tiskový válec. Je méně tažný než tisková guma, proto je důležité dodržet, aby plocha výsekového plechu dosedla na plochu tiskového válce. Ve spoji se nastaví první tlak do výseku a za chodu stroje se nastaví optimální tlak tak, aby bylo možné provést výsek [6].



Obrázek 10: Napnutí výsekové plechu na výsekový stroj [6]



Obrázek 11: Montáž výsekového plechu [7]

Popis montáže výsekového plechu lze popsat následujícím způsobem. Protitlakový válec je opatřen ochrannou folií nebo ochranným plechem. Výsekový plech vykazuje vysokou kvalitu výseku, čímž se dosahuje kvalitní rovinnosti. Pro získání nejlepších výsledků se používá použitelnou sada podložek, která vyrovnává hloubku výseku. Tímto se dosahuje stejných výseků a zvýší se výdržnost plechů [7].

Výsekové plechy se používají pro násek, výsek a rýhování. Rovněž se můžou používat pro všechny archové ofsetové stroje do formátu A3 [7].

Před montáží výsekového plechu na CNC stroj se musí vyčistit protitlakový válec. Poté se výsekový plech na protitlakový válec nalepí a pevně se k protitlakovému válci přitlačí [7].





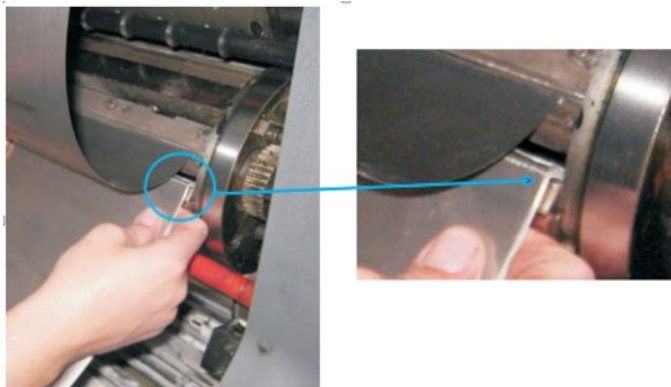
Obrázek 12: Vyčištění a ochrana protitlakového válce [7]

Protitlakový válec se při montáži výsekového plechu chrání vhodným ochranným plechem nebo folií. Volba ochranného média závisí na výši nákladu, na druhu výseku nebo náseku [7].

Ochranný plech se nalepí přímo za hranu a pevně se přitlačí proti protitlakovému válci. Nesmí se pod ním vyskytovat žádné vzduchové bubliny. Je nutné kontrolovat, zda ochranný plech drží na ochranném válci. Při skladování ochranných plechů je třeba se vyhnout vysokým teplotám (horko, chlad) [7].

Je nutné také používat sadu podložek pro výsekové plechy. Podložky se používají u protitlakových válců a u archových ofsetových strojů. Nejsou vhodné pro nasazování výsekových plechů, protože se pod bodovým tlakem výsekových linek stlačují tlakem. Tím je výsek velmi nestejný a výdržnost výsekového nástroje je pak omezená [7].

Sada podložek se dá opakovaně používat a zkracuje dobu přípravy. Výseky jsou stejnoměrnější a zvyšuje se tím výdržnost výsekového plechu [7].



Obrázek 13: Způsob umístění sady podložek [7]

5. Výroba výsekových plechů

Před obráběním výsekových plechů se používají chemické obrábění, které se dále rozděluje na další kategorie.

5. 1. Chemické obrábění

Chemické obrábění se označuje jako Chemical Machining - CM, HM a patří mezi metody beztržiskové a bezsilové obrábění [8].

Podstata chemického obrábění spočívá v řízeném odleptávání vrstev materiálu o tloušťce od několika setin milimetru do několika milimetrů z povrchu obrobku. Princip metody je založen na chemické reakci mezi obráběným materiálem a pracovním prostředím. Místa, která nemají být leptána, jsou chráněna speciálním povlakem o tloušťce od 0,2 mm do 2 mm [78].

Metoda chemického obrábění je ekonomicky výhodná zejména při úběru malých tlouštěk materiálu z obrobků velkých plošných rozměrů a složitých tvarů. V praxi se uplatňuje chemické prostřihování a chemické rozměrové leptání [8].

| Obráběný materiál | Pracovní kapalina | Rychlost leptání | Leptací faktor |
|---------------------|--|------------------|----------------|
| Al | FeCl ₃ (120 g/l ⁻¹ ÷ 180 g/l ⁻¹) | 0,020 | 1,75 |
| Slitiny Al | NaOH (160 g/l ⁻¹ ÷ 180g/l ⁻¹) | 0,025 | |
| Cu a jeho slitiny | FeCl ₃ (550 g/l ⁻¹ ÷ 600 g/l ⁻¹) | 0,050 | 2,75 |
| | (NH ₄) ₂ S ₂ O ₈ (120 g/l ⁻¹ ÷ 240 g/l ⁻¹) | | |
| Mg a jeho slitiny | H ₂ SO ₄ | 0,038 | 1,00 |
| Si | HNO ₃ + HF + H ₂ O | velmi nízká | |
| Nízkouhlíkové oceli | FeCl ₃ (550 g/l ⁻¹ ÷ 600 g/l ⁻¹) | 0,025 | 2,00 |
| | HNO ₃ (10 % ÷ 15 %) | | |
| Korozivzdorné oceli | HCl + HNO ₃ | | |
| | FeCl ₃ (550 g/l ⁻¹ ÷ 600 g/l ⁻¹) | | |
| | HCl (50 %) + HNO ₃ (5 %) | | |
| Slitiny Ti | H ₂ PO ₄ (2,5 %) | | |
| | HF (10 % ÷ 15 %); HN + HNO ₃ | 0,025 | 1,00 |

Tabulka 1: Typy pracovních kapalin [8]

Neobráběná místa jsou potřena speciálním povlakem. Tento povlak se nazývá maska. Mohou existovat dvě možnosti nanášení masky. Na místa, která nejsou neobrobena, se nanáší maska v podobě plastu nebo pryže, která má tloušťku od 0,2 mm po 0,4 mm. Místa, která jsou obrobena, se zakrývají speciálním lakem nebo pryskyřicí [8].

Maska musí být z chemicky odolných materiálů z gumy, plastů nebo pryskyřic. Nejčastěji obráběným materiálem jsou hliník a jeho slitiny, ale obrábí se i jiné kovy [8].

5. 2. Rozdělení chemických metod obrábění

- 1) Leptání: a) chemické rozměrové leptání
b) fotochemické obrábění
- 2) Anizotropní a selektivní leptání
- 3) Kombinovaný proces: termické odstraňování otřepů [8]

V jiné literatuře je uvedeno rozdělení chemického obrábění na: [8]

- chemické obrábění
- fotochemické obrábění
- termické odstraňování otřepů
- speciální postupy chemického obrábění:
 - anizotropní leptání krystalického křemíku
 - chemické obrábění pomocí aktivního plynu
 - chemické obrábění aktivní hmotou (gelem)

5. 3. Chemické prostřihování a chemické rozměrové leptání

Chemické prostřihování - umožňuje zhotovovat tenké a složité výlisky z tenkého plechu nebo fólie bez otřepů. K typickým aplikacím patří výroba elektroplechů pro elektrické motory, elektrické kontakty a svorky, jemná síta, clony a šablony [8].

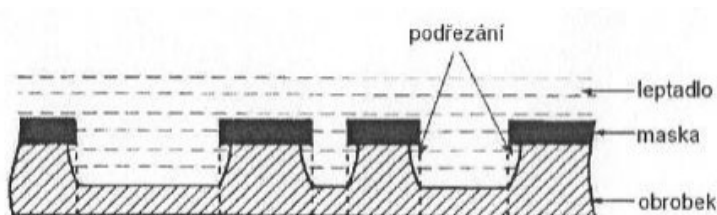
Ve většině aplikací se obrys výrobku přenáší na polotovar fotochemickým tištěním. Princip přenosu spočívá v nanesení fotosenzitivní vrstvy na povrch polotovaru, na kterou se fotografickou cestou přenáší obrys obrobku. Fotosenzitivní vrstva jednak lokalizuje odleptaná místa a jednak chrání místa, která nemají být naleptána [8].

Postup při chemickém prostřihování je následující: nejprve se na povrchu polotovaru určí obrys výrobku. Na tento je obrys nanесena fotosenzitivní vrstva. Fotosenzitivní vrstva určuje odleptávaná místa a zároveň chrání neobráběnou plochu [8].

Chemické rozměrové leptání - je označováno jako chemické frézování, tvar se přenáší pomocí šablon. Během chemického frézování je obráběná součást ponořena do leptacího roztoku. Tvar obrobku je nanесen na součást podle šablony a neobráběné plochy jsou zakryty maskou. Před nanесením masky se musí povrch součásti očistit, aby maska dobře přilnula a při samotném obrábění docházelo k rovnoměrnému úběru materiálu. Čištění se skládá ze čtyř po sobě jdoucích operací: odmaštění, moření, opláchnutí ve vodní lázni a sušení [8].

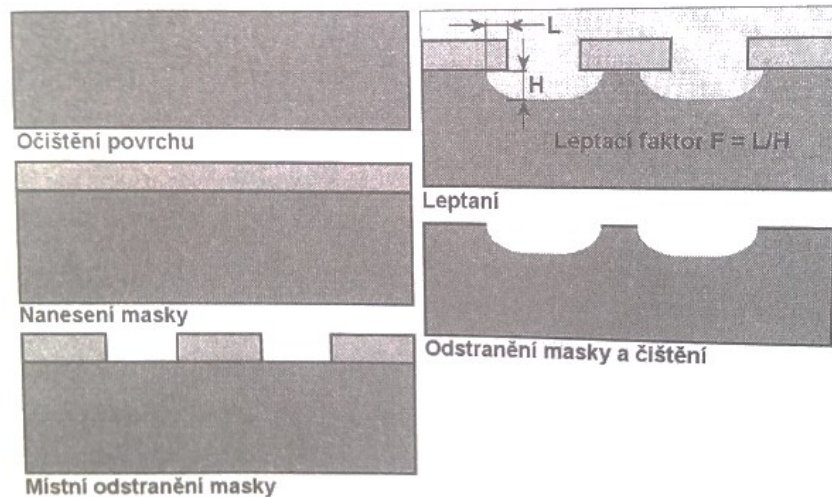
Místa, která nemají být leptána, se chrání ochrannou vrstvou z polyvinylových pryskyřic, polyamidových pryskyřic nebo speciálních laků. Leptání se provádí ponořením do leptajících roztoků [8].

Typickým jevem rozměrového leptání je tzv. podřezávání materiálu tj. odleptávání materiálu v oblasti pod ochrannou maskou [8].



Obrázek 14: Podřezání při chemickém obrábění [8]

Chemické rozměrové leptání se nejčastěji používá při obrábění slitin hořčíku a titanu, je možné jej použít pro nelegované, korozivzdorné a žárupevné oceli. Drsnost povrchu dosahuje v závislosti na obráběném materiálu hodnot $Ra = 0,4 \mu m$ až $Ra = 6,3 \mu m$. Rychlost odleptávání se pohybuje v rozsahu od $0,01 \text{ mm/min}^{-1}$ až do $0,04 \text{ mm/min}^{-1}$ a hloubka odleptávané vrstvy závisí na nátěru proti chemickému rozrušení. Ochranné nátěry se používají na leptání na dobu do 10 hodin., čemuž pak odpovídají hloubky leptání do 10 mm [8].

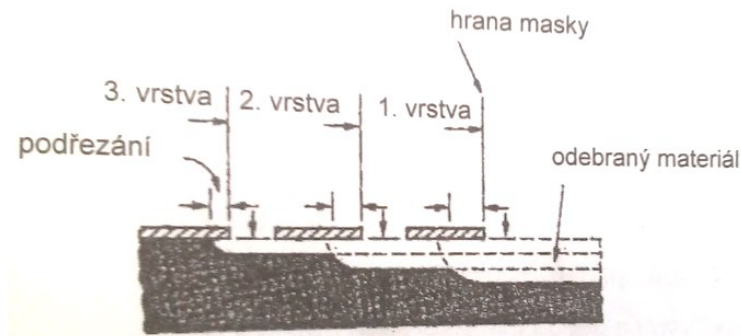


Obrázek 15: Chemické rozměrové leptání [8]

Parametry metody - chemické rozměrové obrábění: [9]

- drsnost Ra : 0,4 až 6,3 μm (0,1 μm až 6,3 μm)
 - tolerance rozměrů $\pm 0,25 mm$
 - rychlost leptání se pohybuje v rozmezí od 0,01 mm/min^{-1} do 0,4 mm/min^{-1}
 - tloušťka masky: 0,15 mm až 2 mm
 - hloubka odleptávané vrstvy: několik setin mm (12,7 mm)
- Závisí na odolnosti nátěru proti chemickému rozrušení
- maximální doba leptání: 8 hodin až 10 hodin
 - neobráběná místa se chrání ochrannou vrstvou z polyvinylových pryskyřic, polyamidových pryskyřic nebo speciálních laků. Ochranné nátěry mají dobu leptání do 10 hodin.
 - obrobek je nutné vkládat do leptací lázně pod úhlem 45°

Maximální hloubka odebírané vrstvy závisí na odolnosti masky proti jejímu narušení chemickou látkou použitou pro leptání. Materiály používané na vytváření masky umožňují maximální dobu leptání 8 hodin až 10 hodin; používají se polyvinylové, polyamidové pryskyřice, nebo speciální laky. Pro nanášení ochranné vrstvy lze využít laseru. Po nanášení ochranné vrstvy následuje sušení [9]



Obrázek 16: Postup kroků při chemickém rozměrovém obrábění stupňovité drážky [9]

Výhody chemického obrábění [9]

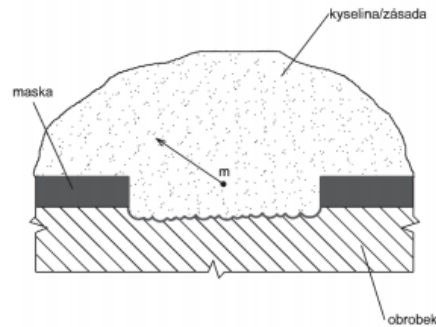
- doba leptání nezávisí na celkové ploše obrábění (je závislá pouze na hloubce)
- bezsilová metoda - nedochází k deformaci obrobku
- obrábění tvarově složitých a málo tuhých součástí, které lze obtížně upínat, aniž by došlo k jejich deformaci řeznými nebo upínacími silami
- nezpůsobuje vznik vnitřních pnutí
- lze obrábět většinu ocelí a slitin
- nízké náklady v porovnání s ECM a EDM

Nevýhody chemického obrábění [9]

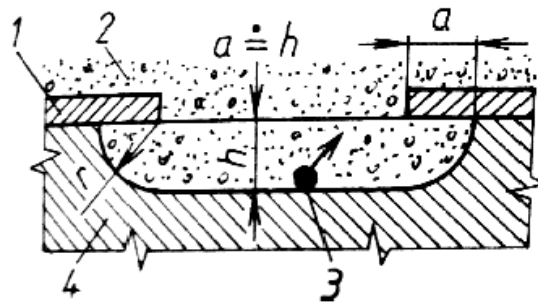
- nelze vytvořit ostrou hranu: $r = h$
- nekontrolované podřezání
- hluboké tvary jsou neekonomické
- rovnoměrnost odleptané vrstvy je podmíněna homogenitou struktury oceli
- svary a nálitky jsou obtížně obráběné (mají různou strukturu - vznik jamkovitého povrchu)
- náklady na proces závisí na kvalitě obráběného povrchu (stopy po korozi)
- po chemickém obrábění se může vyžadovat mechanické leštění povrchu
- rozměry vidlice jsou limitované rozměry nádrže, do které se ponoří
- zvýšená bezpečnost práce, likvidace chemikálií, znečišťování ovzduší

Pomocí chemického obrábění se můžou obrábět materiály z hliníku a jeho slitin, konstrukční uhlíkové oceli, korozivzdorné oceli, mědi. Chemické obrábění se používá pro výrobu mělkých, zpravidla hlubokých a tvarově složitých reliéfů od tloušťky 0,05 mm do tloušťky 1,5 mm [9].

Je vhodné pro obrábění tenkostěnných součástí, které se těžko upínají, a také pro výrobu děr do tenkostěnných trubek a fólií. Rovněž se využívá pro metodu opracování křemíkových materiálů a odstraňování otřepů termickou reakcí vodíku a kyslíku [9].



Obrázek 17: Schéma chemického obrábění [9]



Obrázek 18: Princip chemického obrábění [9]

1 - maska, 2 - nástroj (chemická leptací látka), 3 - odebrané (odleptané) části materiálu obrobku, 4 - obrobek

Použití metody chemického obrábění [9]

- obráběné materiály: hliník a jeho slitiny, měď, titan, slitiny Mg a Ti, nelegované oceli, korozivzdorné oceli, žárupevné oceli, mosaz
- mělké - několik setin *mm*, tvarově složité reliéfy
- úběr velkých ploch o malých tloušťkách
- nosníky leteckých konstrukcí, potahy křídel z hliníku
- snížení hmotností dílů - pláště a křídel letadel
- tenkostěnné součásti (fólie, trubky)
- výroba děr do tenkostěnných trubek a fólií
- pro málo tuhé součásti
- desky plošných obvodů, zkušební lamináty

6. Použitý nástroj pro obrábění

Pro obrábění výsekových plechů se používá řezný nástroj - fréza. Materiál řezného nástroje - frézy je z kubického nitridu boru KBN.

Další údaje, které se týkají řezného nástroje - frézy, nebudou u tohoto bodu uvedeny, protože firma, ve které byli prováděny experimenty, si nepřeje bez dalšího souhlasu zveřejnovat další údaje.

7. Postup obrábění výsekového plechu

Při obrábění výsekového plechu řezný nástroj - fréza odebírá materiál z výchozího tvaru hranolu na trojúhelníkový tvar. Rovněž je důležité řezný nástroj - frézu přebrousovat pomocí brusky. Provádí se z důvodu, který ovlivňuje výslednou řeznou hranu a tím řezné podmínky. Také je nutné kontrolovat opotřebení břitu řezného nástroje - frézy.

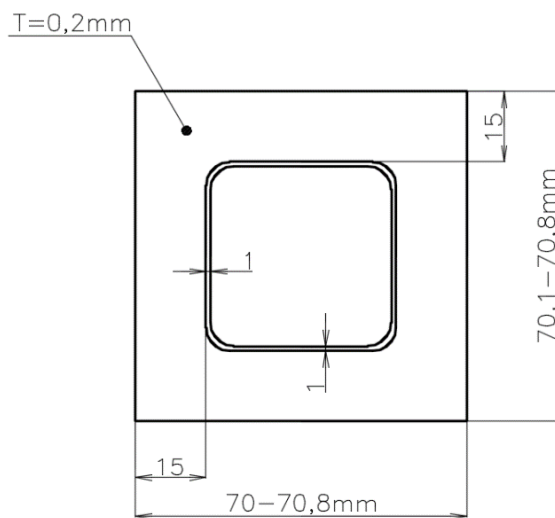
Další údaje, které se týkají postupu obrábění výsekového plechu, nebudou u tohoto bodu uvedeny, protože firma, ve které byli prováděny experimenty, si nepřeje bez dalšího souhlasu zveřejnovat další údaje.

8. Experimentální část

8. 1. Charakteristika vzorků

Vzorky měli tvar nesouměrného čtverce s rozměry $L = 70 \text{ mm} \div 70,8 \text{ mm}$ na šířku a $H = 70,1 \div 70,8 \text{ mm}$ na výšku. Tloušťka vzorků byla $t = 0,2 \text{ mm}$. U vzorků se nacházel ve vzdálenosti $L = 15 \text{ mm}$ od hrany profil tvaru čtverce, který měl tloušťku $t = 1 \text{ mm}$.

Vzorky byli vyhodnoceni pomocí vizuální kontroly a kontroly geometrické přesnosti. Cílem bylo navrhnout řezné podmínky, upravit způsoby frézování a navrhnout doporučení pro obrábění vzorků.



Obrázek 19: Rozměry vzorků

8. 2. Metodiky a technické parametry

Údaje, které se týkají metodiky a technických parametrů výsekových plechů, nebudou u tohoto bodu uvedeny, protože firma, ve které byli prováděny experimenty, si nepřije bez dalšího souhlasu zveřejnovat další údaje.

Tabulka 2 udává základní řezné podmínky vzorků. Hloubka odebírané třísky $a_p = 0,24 \text{ mm}$, která je udávána v tabulce má tuto hodnotu, protože se frézuje výsekový plech tloušťky $t = 0,2 \text{ mm}$. Efektivní průměr řezného nástroje - frézy $d_{\text{efek.}}$ se vypočítá z úhlu záběru α , kde se jeho hodnota liší při hrubování a obrábění na čisto.

| | | |
|---|----------|---------|
| Hloubka odebírané třísky a_p | [mm] | 0,24 |
| Efektivní průměr frézy Tesch $d_{\text{efek.}}$ | [mm] | 0,24 |
| Minimální posuv za minutu f_{min} | [mm/min] | 1 500 |
| Úhel záběru β | [°] | 35 ÷ 45 |

Tabulka 2: Technické parametry vzorků

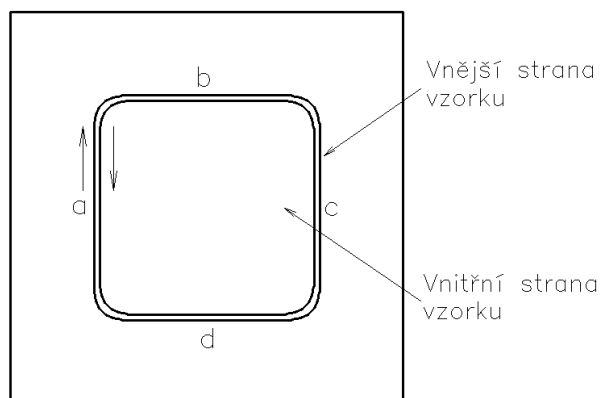
8. 3. Řezné podmínky

Pro obrábění výsekových plechů byli použity rozdílné hodnoty řezných podmínek a způsobů frézování, které jsou uvedeny v tabulce 3.

| Vzorky | Řezná rychlost v_c | Efektivní řezná rychlost $v_{cefek.}$ | Posuv na zub f_z | Otáčky n |
|---------------|----------------------|---------------------------------------|--------------------|------------|
| | [m/min] | [m/min] | [mm/zub] | [ot./min] |
| 1 | 596 | 60 | 0,0237 | 63 250 |
| 2 | 596 | 60 | 0,0237 | 63 250 |
| 3 = 4 | 754 | 75 | 0,0188 | 80 000 |
| 4 = 14 | 754 | 75 | 0,0188 | 80 000 |
| 5 | 596 | 60 | 0,0237 | 63 250 |
| 6 | 596 | 60 | 0,0237 | 63 250 |
| 7 | 596 | 60 | 0,0237 | 63 250 |
| 8 | 596 | 60 | 0,0237 | 63 250 |
| 9 | 754 | 75 | 0,0188 | 80 000 |
| 10 | 754 | 75 | 0,0188 | 80 000 |
| 11 | 754 | 75 | 0,0188 | 80 000 |
| 12 | 754 | 75 | 0,0188 | 80 000 |

Tabulka 3: Řezné podmínky pro obrábění vzorků

Tabulka 4 ukazuje způsoby frézování, které byli použité pro frézování vnitřní strany vzorku a vnější strany vzorku. Strany vzorku a směry frézování jsou označené podle obrázku 21.



Obrázek 20: Strany vzorku a směry frézování

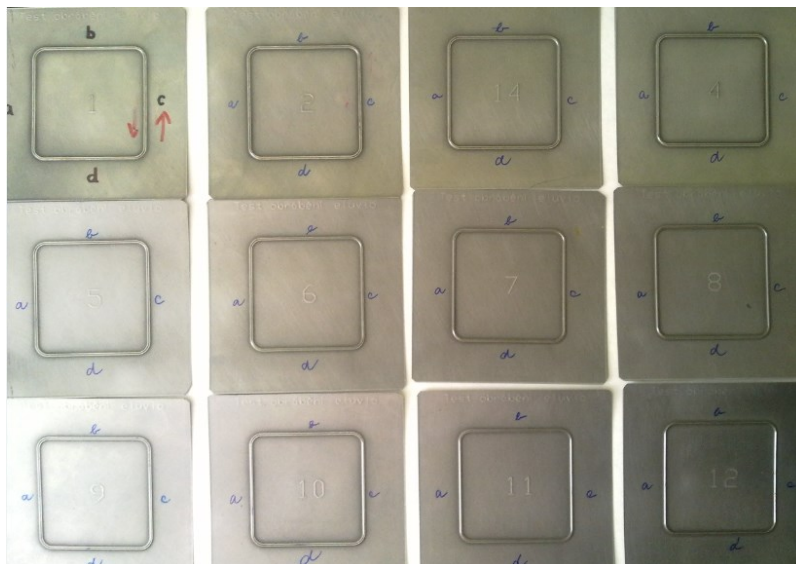
Podle obrázku 21 je nesousledné frézování označeno ↓ a sousledné frézování je označeno ↑

| Vzorky | Vnitřní strana vzorku | Vnější strana vzorku |
|---------------|-----------------------|-----------------------|
| | Způsoby frézování | |
| 1 | nesousledné frézování | sousledné frézování |
| 2 | sousledné frézování | nesousledné frézování |
| 3 = 4 | nesousledné frézování | sousledné frézování |
| 4 = 14 | sousledné frézování | nesousledné frézování |
| 5 | sousledné frézování | sousledné frézování |
| 6 | nesousledné frézování | nesousledné frézování |
| 7 | sousledné frézování | sousledné frézování |
| 8 | nesousledné frézování | nesousledné frézování |
| 9 | sousledné frézování | sousledné frézování |
| 10 | nesousledné frézování | nesousledné frézování |
| 11 | sousledné frézování | sousledné frézování |
| 12 | nesousledné frézování | nesousledné frézování |

Tabulka 4: Způsoby frézování pro obrábění vzorků

9. Vizuální kontrola a kontrola geometrické přesnosti vzorků

Pro vizuální kontrolu a kontrolu geometrické přesnosti vzorků bylo použito vzorky v celkovém počtu 12 - ti vzorků, což ukazuje obrázek 21.



Obrázek 21: Vzorky určené pro experimentální část

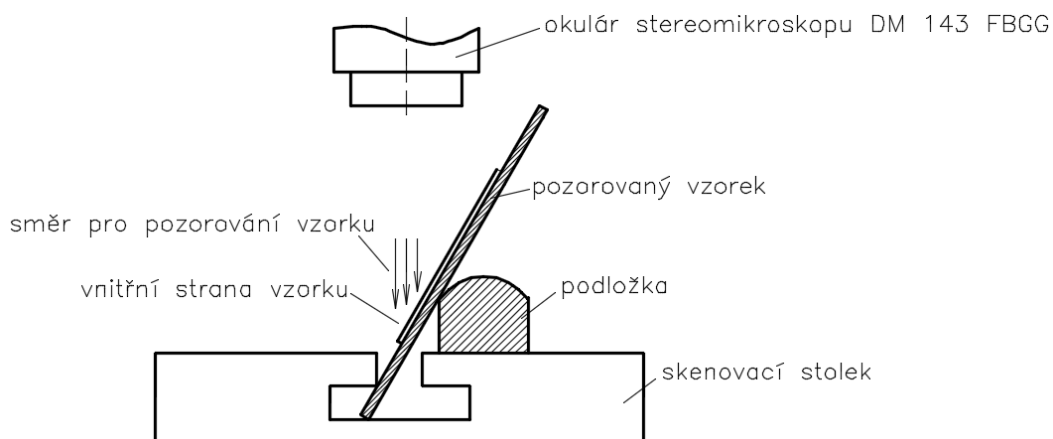
9. 1. Vizuální kontrola vzorků

Vizuální kontrola vzorků byla provedena pomocí **stereomikroskopu DM 143 FBGG** a probíhala, takže vzorky byly umístěny na skenovací stolek stereomikroskopu a podloženy tak, aby byly nastaveny ve správném úhlu pro měření. Podle toho jakým způsobem byly vzorky podloženy bylo možné pozorovat a vyhodnotit vnější stranu vzorku a vnitřní stranu vzorku.

Vzorky byly pod stereomikroskopem DM 143 FBGG pozorovány a vyhodnoceny z vnitřní strany vzorku a z vnější strany vzorku. Výsledkem měření vzorků byl určitý počet vyhodnocených snímků (u každého vzorku byly vyhodnoceny 4 snímky z vnější strany vzorku a vnitřní strany vzorku). Z vyhodnocených snímků se vybrali některé vyhodnocené snímky, které jsou uvedeny v diplomové práci.

9. 1. 1. Obrázky z vyhodnocení vzorků

Obrázek 22 ukazuje vyhodnocení a popis vzorku, který byl pozorován pod stereomikroskopem DM 143 FBGG z jeho vnitřní strany.



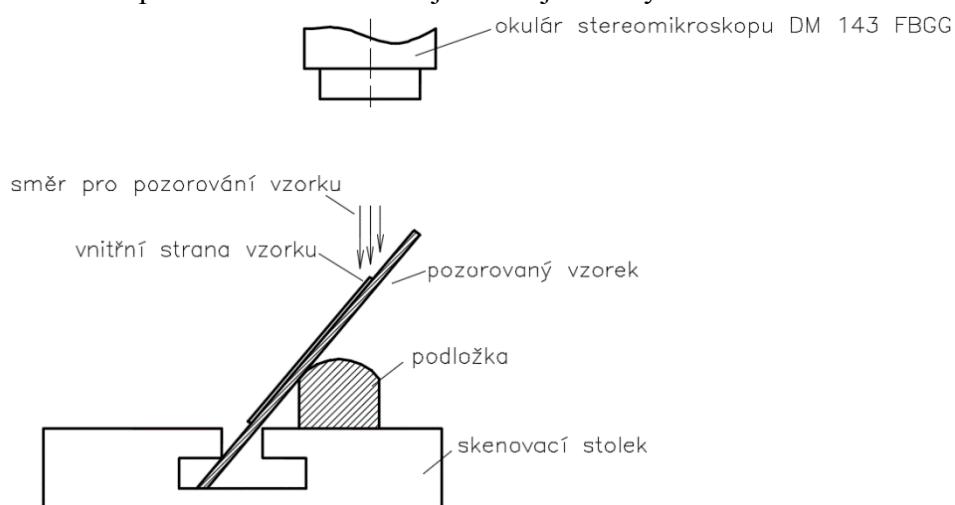
Obrázek 22: Vyhodnocení a popis vzorku z jeho vnitřní strany

Na obrázku 23 je snímek z vyhodnocení vzorku pod stereomikroskopem DM 143 FBGG z jeho vnitřní stany.



Obrázek 23: Vyhodnocení vzorku z jeho vnitřní stany

Následný obrázek 24 ukazuje vyhodnocení a popis vzorku, který byl pozorován pod stereomikroskopem DM 143 FBGG z jeho vnější strany.



Obrázek 24: Vyhodnocení a popis vzorku z jeho vnější strany

Na obrázku 25 je snímek z vyhodnocení vzorku pod stereomikroskopem DM 143 FBGG z jeho vnější stany.



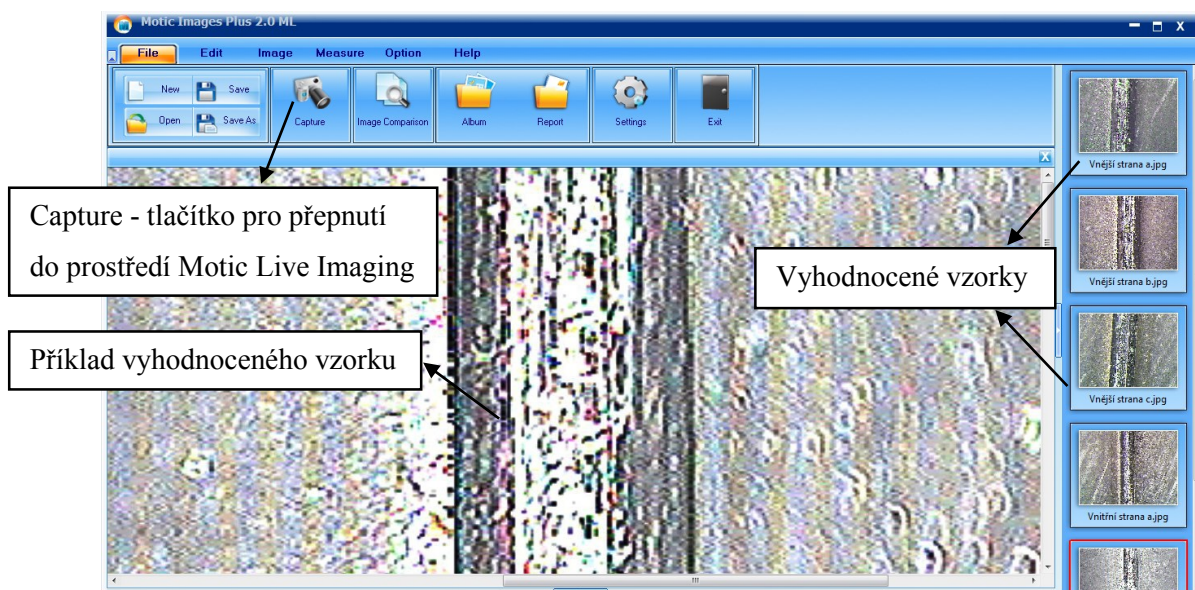
Obrázek 25: Vyhodnocení vzorku z jeho vnější stany

9. 1. 2. Vyhodnocení vzorků

Snímky získané vyhodnocením vzorků pod stereomikroskopem DM 143 FBGG byli zpracovány v programu Motic Images Plus 2.0 ML, který se používá pro digitální mikroskopii. Program Motic Images Plus 2.0 ML je dodávaný ke stereomikroskopu DM 143 FBGG a umožňuje vytvářet, upravovat a vyhodnocovat snímky vzorků.

Postup vyhodnocování snímků v programu Motic Images Plus 2.0 ML probíhal podle následujícího postupu. Na horní liště se klikne na obrázek kamery (ang. capture), která přepne prostředí programu do Motic Live Imaging Module, ve kterém jsou snímky vzorků vyhodnoceny.

Na obrázku 26 je snímek programu Motic Images Plus 2.0 ML s popisem a příklad vyhodnocené vzorku, který byl získaný vyhodnocením pod stereomikroskopem DM 143 FBGG.



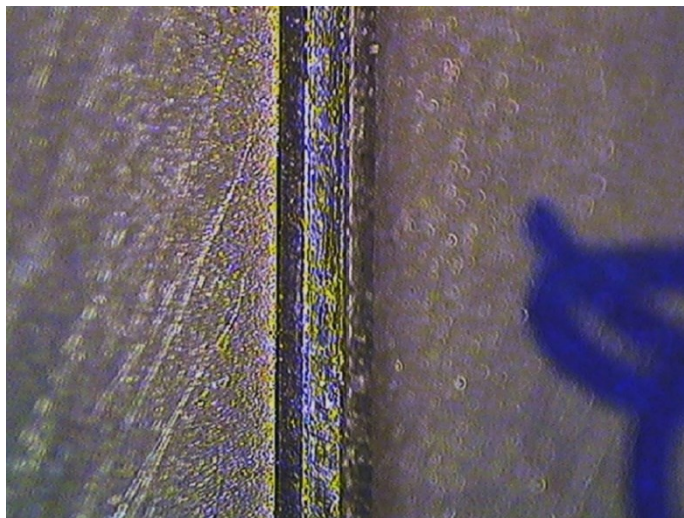
Obrázek 26: Snímek programu Motic Images Plus 2.0 ML

Na obrázku 27 je snímek Motic Live Imaging Module, ve kterém probíhalo vzorků vyhodnocených pod stereomikroskopem DM 143 FBGG.

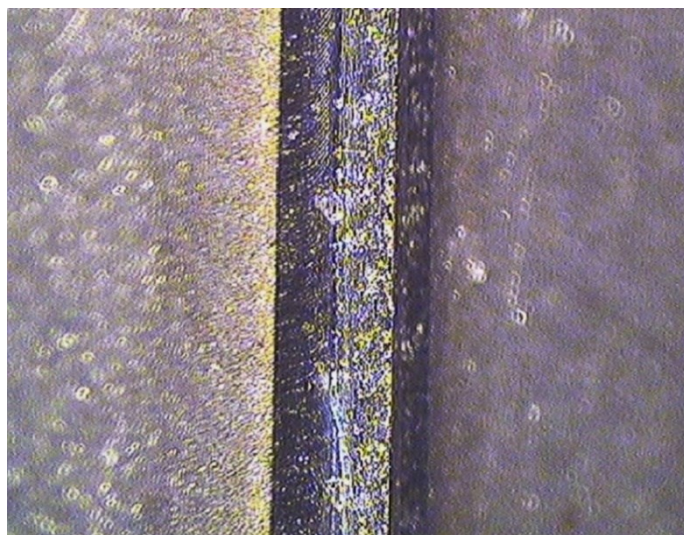


Obrázek 27: Snímek prostředí Motic Live Imaging Module (po kliknutí na Capture)

Na dalších obrazech (obrázku 28 a obrázku 29) jsou příklady dokumentace vzorků vyhodnocených pod stereomikroskopem DM 143 FBGG z vnitřní strany vzorků a vnější strany vzorků. Zbývající vyhodnocené snímky jsou uvedeny v příloze diplomové práce.



Obrázek 28: Příklad dokumentace vnitřní strany vzorku



Obrázek 29: Příklad dokumentace vnější strany vzorku

9. 1. 3. Tabulkové vyhodnocení vzorků

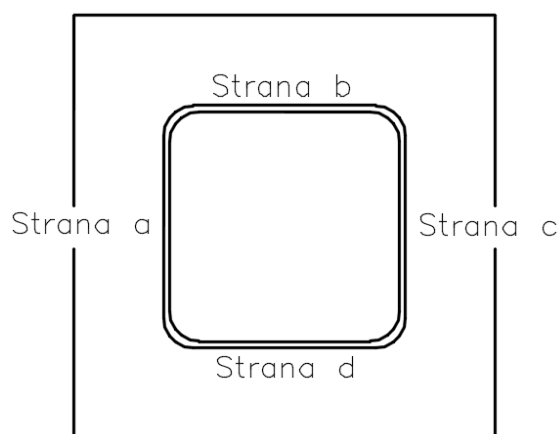
Pro vyhodnocení vzorků byla zvolena tabulka 5 v rozmezí hodnot od 0 do 10, která byla sestavena podle pozorování a vyhodnocení vzorků pod stereomikroskopem DM 143 FBGG

| | |
|----|---|
| 0 | čisté hrany bříty |
| 1 | mírné otřepy |
| 2 | malé otřepy |
| 3 | otřepy, stopy po fréze Tesch |
| 4 | časté otřepy |
| 5 | velmi časté otřepy |
| 6 | otřepy, velké stopy po fréze Tesch |
| 7 | otřepy, špatné hrany bříty |
| 8 | otřepy, špatné hrany bříty, stopy po fréze Tesch |
| 9 | velmi špatné hrany bříty, velké stopy po fréze Tesch |
| 10 | velký výskyt otřepů, špatně opracované hrany bříty (nalepené nárůstky) |

Tabulka 5: Tabulkové vyhodnocení vzorků

Tabulka 6 a tabulka 8 ukazuje vyhodnocení vnější strany vzorků a vnitřní strany vzorků pozorovaných pod stereomikroskopem DM 143 FBGG.

Vzorky byli vyhodnoceny podle strany *a*; *b*; *c*; *d* (obrázek 30). Z vyhodnocených hodnot se vypočítá aritmetický průměr pro každý vzorek z tabulky 6 a tabulky 8.

**Obrázek 30:** Strany vzorku *a*; *b*; *c*; *d*

| Vzorky | Vnější strana vzorků | | | | Aritmetický průměr |
|--------|----------------------|----------|----------|----------|--------------------|
| | Strana a | Strana b | Strana c | Strana d | |
| 1 | 3 | 3 | 4 | 1 | 2,75 |
| 2 | 5 | 4 | 3 | 5 | 4,25 |
| 3 = 4 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1,75 |
| 4 = 14 | 2 | 3 | 1 | 3 | 2,25 |
| 5 | 3 | 3 | 5 | 1 | 3 |
| 6 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2,25 |
| 7 | 3 | 1 | 2 | 3 | 2,25 |
| 8 | 2 | 5 | 1 | 3 | 2,75 |
| 9 | 1 | 2 | 3 | 3 | 2,25 |
| 10 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 |
| 11 | 1 | 2 | 2 | 4 | 2,25 |
| 12 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2,5 |

Tabulka 6: Vyhodnocení vnější strany vzorků

| Vnější strana vzorků | |
|----------------------------|---|
| Nejlépe vyhodnocený vzorek | 3 |
| Nejhůře vyhodnocený vzorek | 2 |

Tabulka 7: Nejlépe a nejhůře vyhodnocený vzorek (tabulka 6)

| Vzorky | Vnitřní strana vzorků | | | | Aritmetický průměr |
|--------|-----------------------|----------|----------|----------|--------------------|
| | Strana a | Strana b | Strana c | Strana d | |
| 1 | 2 | 3 | 2 | 4 | 2,2 |
| 2 | 2 | 5 | 4 | 6 | 3,4 |
| 3 = 4 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1,6 |
| 4 = 14 | 2 | 3 | 3 | 5 | 2,6 |
| 5 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1,4 |
| 6 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1,6 |
| 7 | 3 | 5 | 3 | 2 | 2,6 |
| 8 | 4 | 5 | 3 | 4 | 3,2 |
| 9 | 1 | 3 | 5 | 3 | 2,4 |
| 10 | 4 | 2 | 3 | 3 | 2,4 |
| 11 | 1 | 4 | 2 | 2 | 1,8 |
| 12 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 |

Tabulka 8: Vyhodnocení vnitřní strany vzorků

| Vnitřní strana vzorků | |
|----------------------------|---|
| Nejlépe vyhodnocený vzorek | 5 |
| Nejhůře vyhodnocený vzorek | 2 |

Tabulka 9: Nejlépe a nejhůře vyhodnocený vzorek (tabulka 9)

Celkové vyhodnocení vizuální kontroly vzorků (z vnější strany a z vnitřní strany)

| | |
|----------------------------|----------|
| Nejlépe vyhodnocený vzorek | <u>3</u> |
| Nejhůře vyhodnocený vzorek | <u>2</u> |

Tabulka 10: Nejlépe a nejhůře vyhodnocený vzorek

9. 1. 4. Vyhodnocení vizuální kontroly

Na základě vyhodnocené vizuální kontroly vzorků je možné zhodnotit a navrhnout doporučené parametry pro obrábění vzorků.

Tabulka 11 a tabulka 12 ukazuje řezné podmínky, které byly nastaveny při obrábění nejlepšího a nejhůře vyhodnoceného vzorku.

| n | v_c | $v_{cefek.}$ | f_z | f_{min} |
|-----------|---------|--------------|----------|-----------|
| [ot./min] | [m/min] | [m/min] | [mm/zub] | [mm/min] |
| 80 000 | 596 | 60 | 0,0188 | 1 500 |

Tabulka 11: Řezné podmínky pro obrábění vzorku č. 3

(nejlépe vyhodnocený vzorek)

| n | v_c | $v_{cefek.}$ | f_z | f_{min} |
|-----------|---------|--------------|----------|-----------|
| [ot./min] | [m/min] | [m/min] | [mm/zub] | [mm/min] |
| 63 250 | 596 | 60 | 0,0237 | 1 500 |

Tabulka 12: Řezné podmínky pro obrábění vzorku č. 2

(nejhůře vyhodnocený vzorek)

Na základě tabulky 11 a tabulky 12 je možné vyhodnotit závěr, který dokazuje rozdílný vliv frézy při obrábění vnější strany vzorku a vnitřní strany vzorku. Lepších výsledků bylo dosaženo při obrábění vnější strany vzorku, až pak při obrábění vnitřní strany vzorku. Tyto rozdíly při obrábění vzorků jsou zcela patrné pozorováním pod stereomikroskopem DM 143 FBGG. Tak, aby se dosáhlo podobného výsledků při obrábění vzorků, navrhol bych upravit řezné podmínky. Tím se zlepší kvalita řezné hrany, sníží se otřepy po obrábění.

9. 2. Kontrola geometrické přesnosti vzorků

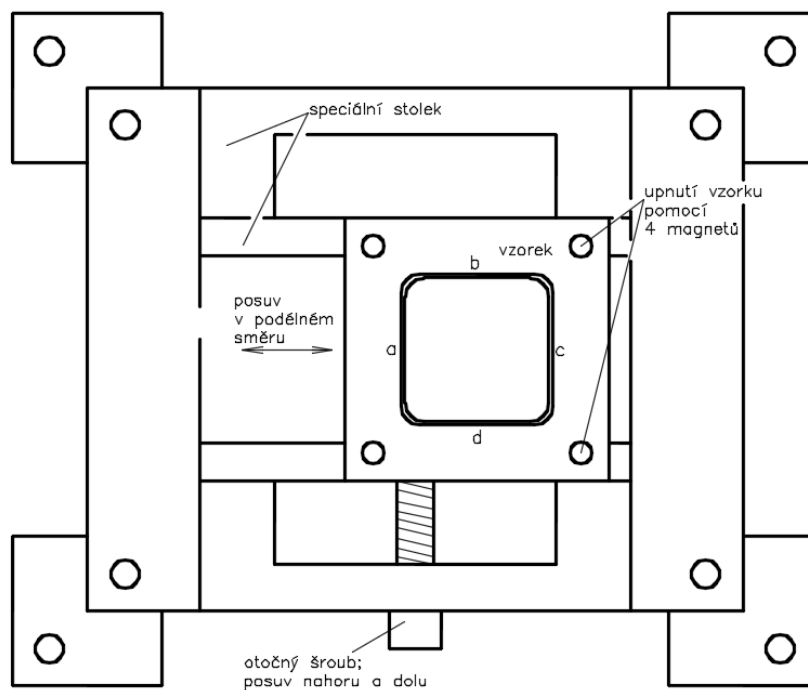
Kontrola geometrické přesnosti byla provedena pomocí **optického profilometru MicroProf FRT** a probíhala takže, vzorky byly umístěny na speciální stůl optického profilometru MicroProfu FRT.

Měření bylo vyhodnoceno na základě snímání strany vzorku z jedné strany oproti vizuální kontrole vzorků. U vizuální kontroly naopak probíhalo vyhodnocení z vnější strany vzorků a z vnitřní strany vzorků.

Snímky získané vyhodnocením vzorku z jednotlivých stran byli vyhodnoceny v programu „Acquire“. Získané snímky vzorků byli z tohoto programu uloženy a jejich závěrečné zpracování probíhalo v programu SPIP 6.2.6, kde se vyhodnocením získali tři druhy vyhodnocených snímků (**vizualizace střížné hrany, 3D model profilu vzorku, mapa výškových nerovností profilu vzorku**).

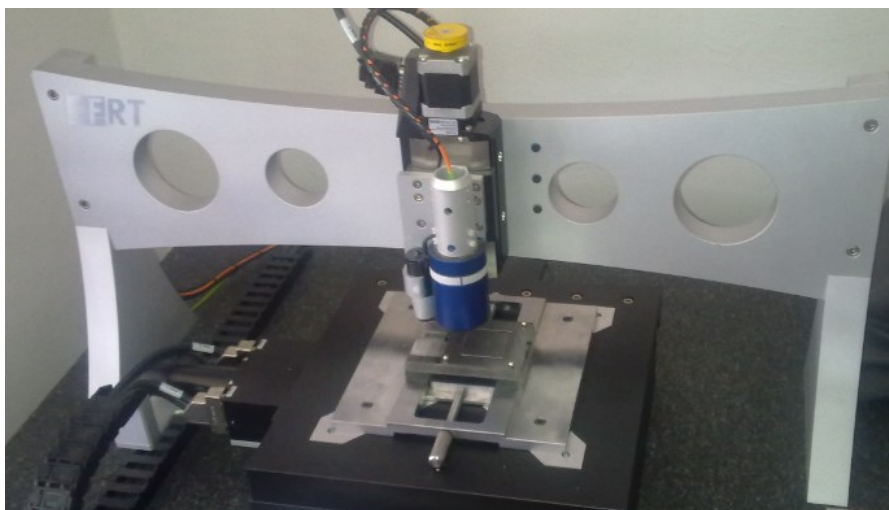
9. 2. 1. Obrázky z vyhodnocení vzorků

Obrázek 31 ukazuje popis vzorku, který byl vyhodnocený na optickém profilometru MicroProfu FRT.



Obrázek 31: Upnutí vzorku na speciálním stolku

Obrázek 32 ukazuje snímek z vyhodnocení vzorku pod optickým profilometrem MicroProf FRT.



Obrázek 32: Vyhodnocení vzorku pod optickým profilometrem MircoProf FRT

9. 2. 2. Vyhodnocení vzorků

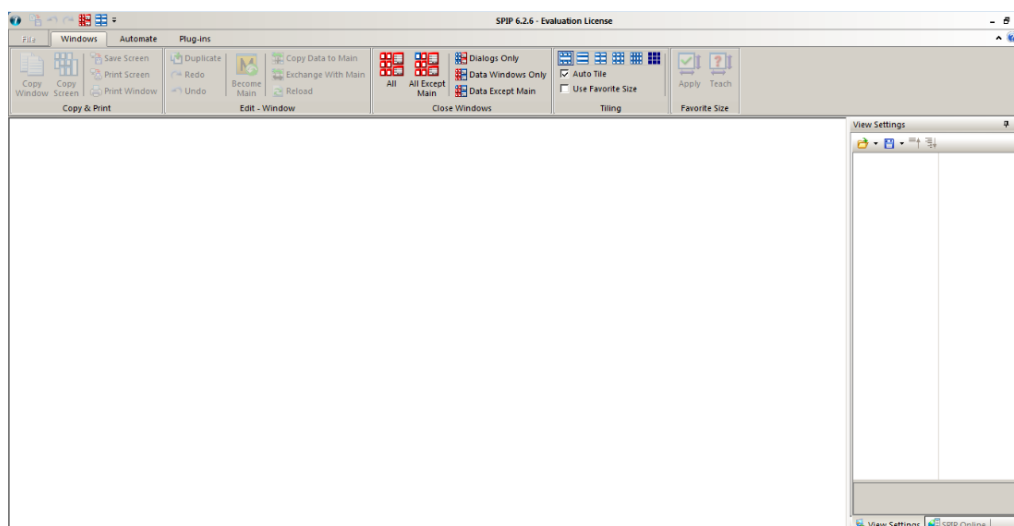
Snímky získané vyhodnocením vzorků pod optickým profilometrem MircoProf FRT byli vyhodnoceny programem SPIP 6.2.6..

Program SPIP 6.2.6. je aplikací, která se používá k analýze různých typů vstupních obrazů a poskytuje nástroje pro analýzu SPM a SEM data, jako je například analýza síly křivky. Představuje také žádaný a důležitý nástroj pro výzkumné činnosti jako jsou mikroelektronika a nanotechnologie.

V programu SPIP 6.2.6. byli vyhodnoceny tyto snímky: **vizualizace střížné hrany, 3D model profilu vzorku a mapa výškových nerovností profilu vzorku.**

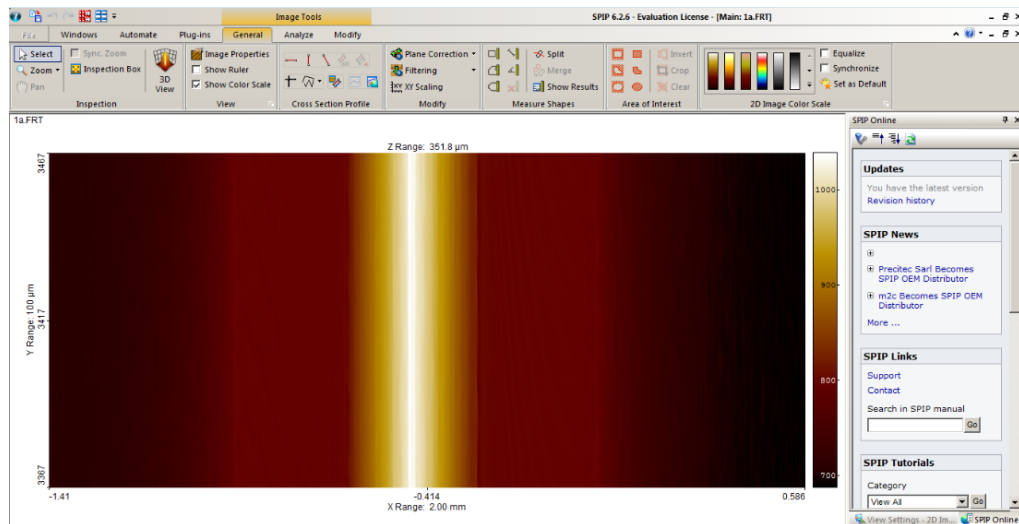
Na obrázku 33 je snímek programu SPIP 6.2.6. ve výchozím zobrazení. Obrázek 34, obrázek 35 a obrázek 36 ukazuje snímky vyhodnocení vzorků podle třech zvolených kritérií.

1)



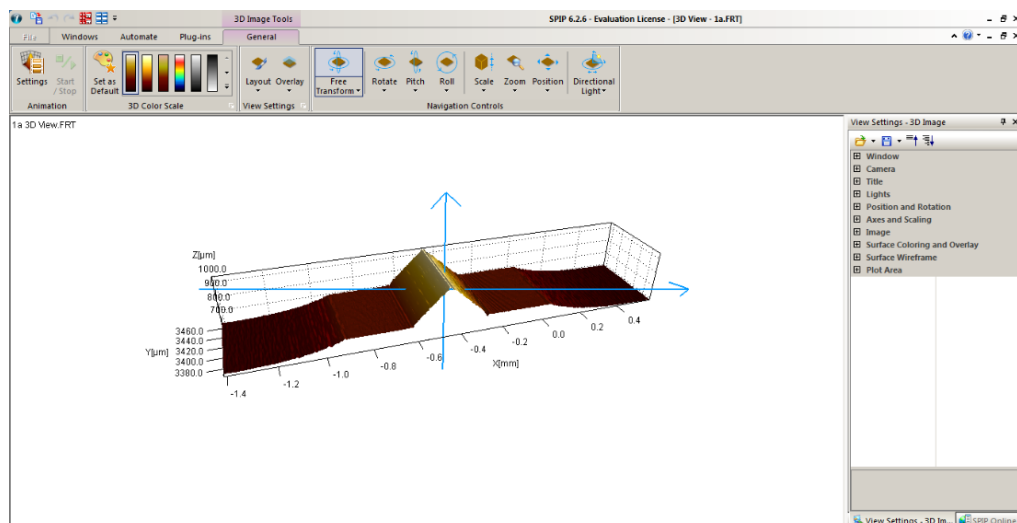
Obrázek 33: Snímek obrazovky programu SPIP 6.2.6.

2)



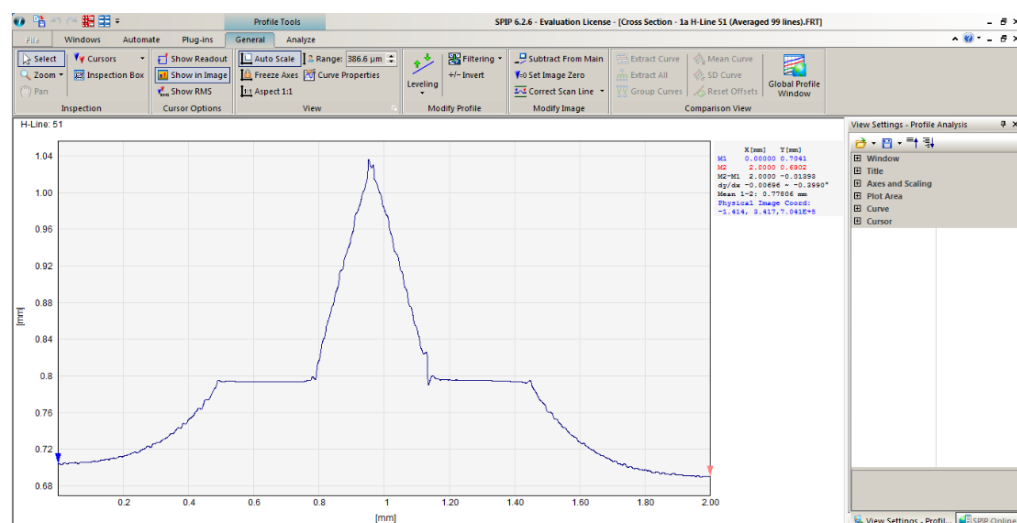
Obrázek 34: Dokumentace vizualizace střížné hrany (100 linií)

3)



Obrázek 35: Dokumentace 3D modelu profilu vzorku (100 linií)

4)

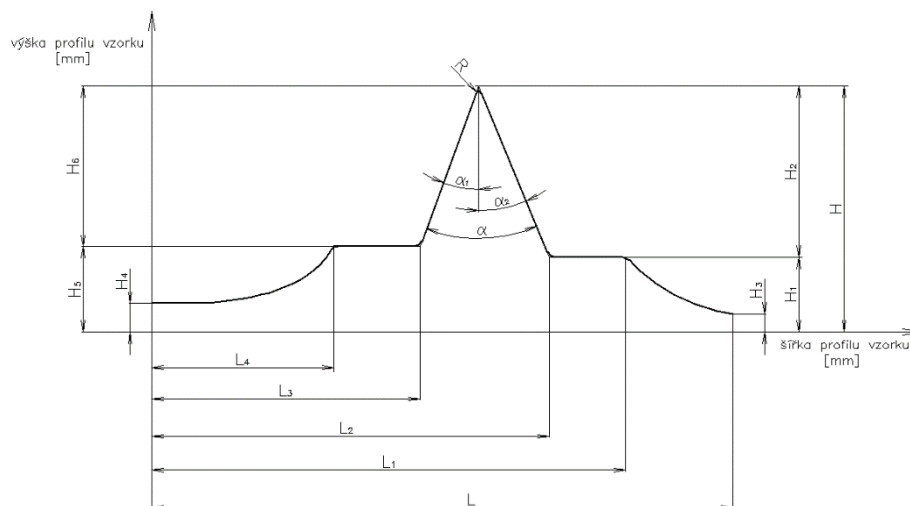


Obrázek 36: Dokumentace mapy výškových nerovností profilu vzorku (100 linií)

9. 2. 3. Dosažené výsledky

Ze získaných snímků vzorků bylo vyhodnocena v programu SPIP 6.2.6. kontrola geometrické přesnosti. Konkrétně byli zhodnoceny rozměry vzorků a tvar profilu vzorků.

Na obrázku 37 je vzorek se zakótovanými rozměry, které byli vyhodnocené v programu SPIP 6 2.6..



Obrázek 37: Vzorek se zakótovanými rozměry

Na základě obrázku 37 byli vzorky vyhodnoceny v určité toleranci rozměrů v rozmezí od do. Následně tabulka 13, tabulka 14, tabulka 15 ukazuje vyhodnocení vzorků podle tří uvedených kritérií.

| Označení | [mm] |
|----------|---------------|
| L | 2 |
| L_1 | $1,4 \pm 0,3$ |
| L_2 | $1,2 \pm 0,3$ |
| L_3 | $0,7 \pm 0,2$ |
| L_4 | $0,4 \pm 0,2$ |
| H | $1,4 \pm 0,2$ |
| H_1 | $1,2 \pm 0,1$ |
| H_2 | $0,2 \pm 0,1$ |
| H_3 | $1,1 \pm 0,1$ |
| H_4 | $1,2 \pm 0,1$ |
| H_5 | $1,4 \pm 0,2$ |
| H_6 | $0,2 \pm 0,1$ |

Tabulka 13: Délkové rozměry vzorků v toleranci

| Označení | [°] |
|------------|-----------------------|
| α_1 | 46 ± 2 |
| α_2 | 47 ± 2 |
| α | $\alpha_1 + \alpha_2$ |

Tabulka 14: Úhly vzorků v toleranci

| Označení | [μm] |
|----------|-------------------|
| R | $7,4 \pm 5$ |

Tabulka 15: Rádus vzorků v toleranci

9. 2. 4. Vyhodnocení kontroly geometrické přesnosti

Na základě vyhodnocené kontroly geometrické přesnosti vzorků je možné zhodnotit povrch vzorku po obrábění a vyhodnotit vzorky rozměrově z mapy výškových nerovností profilu vzorku.

Tabulka 16 a tabulka 17 ukazuje řezné podmínky, které byly nastaveny při obrábění nejlepšího a nejhůře vyhodnoceného vzorku (podobné vyhodnocení jako u vizuální kontroly).

| n | v_c | $v_{\text{cefek.}}$ | f_z | f_{min} |
|-----------|---------|---------------------|----------|------------------|
| [ot./min] | [m/min] | [m/min] | [mm/zub] | [mm/min] |
| 80 000 | 754 | 75 | 0,0188 | 1 500 |

Tabulka 16: Řezné podmínky pro obrábění vzorku č. 3

(nejlépe vyhodnocený vzorek)

| n | v_c | $v_{\text{cefek.}}$ | f_z | f_{min} |
|-----------|---------|---------------------|----------|------------------|
| [ot./min] | [m/min] | [m/min] | [mm/zub] | [mm/min] |
| 63 250 | 596 | 60 | 0,0237 | 1 500 |

Tabulka 17: Řezné podmínky pro obrábění vzorku č. 4

(nejhůře vyhodnocený vzorek)

Na základě vyhodnocených tabulek (tabulky 16, tabulky 17) je možné zhodnotit vzorky a porovnat je s výsledky vizuální kontroly na straně 30. Porovnání obou prováděných kontrol z hlediska vyhodnocených vzorků je uvedeno v závěru diplomové práce.

Výsledky kontroly geometrické přesnosti a vizuální kontroly se nepatrně liší na základě vyhodnocených vzorků. Je možné vyhodnotit, že lepších výsledků bylo rovněž dosaženo při obrábění vnější strany a vnitřní strany vzorku. Rozdíly byli jednoznačně patrné v programu SPIP 6.2.6.

10. Návrh doporučených opatření pro obrábění vzorků

Na základě vyhodnocené vizuální kontroly a kontroly geometrické přesnosti je možné doporučit a navrhnout takové opatření, které zlepší ve výsledků kvalitu řezné hrany. Navrhoval bych také firmě, ve které byli prováděny experimenty, navržené body vyzkoušet přímo na místě při obrábění zkušebního vzorku.

Navržené doporučené body, které vylepší řeznou hranu při obrábění vzorků, jsou následující:

- a) *upravit řezné podmínky*
- b) *vylepšit strategii obrábění v CAM systému*
- c) *upravit - změnit řezný nástroj - frézu*
- d) *zkvalitnit přebrousování původního řezného nástroje - frézy*
- e) *použít při hrubování a obrábění na čisto jiný průměr řezného nástroje - frézy (popřípadě použít řezný nástroj - frézu od jiného výrobce)*
- f) *zkrátit vyložení řezného nástroje - frézy*

ad a) upravit řezné podmínky

Řezné podmínky při obrábění vzorků ovlivňují ve velké míře výsledek obrábění. Z tohoto důvodu bych doporučil upravit velikost posuvu řezného nástroje - frézy. Prostřednictvím posuvu řezného nástroje - frézy jsou ovlivněny otáčky při obrábění.

Řezná rychlost je pak ovlivňována zvolenými otáčkami. Z tohoto důvodu bych navrhoval použít otáčky od $n = 65\,000\text{ m/min}$ do $n = 75\,000\text{ m/min}$. Otáčky je možné dále u dolní hranice zvýšit a u horní hranice naopak snížit. Je možné se řídit pravidlem, že čím jsou menší otáčky, tím se dosahuje kvalitnějšího výsledku obrábění a naopak ve vztahu k nástroji.

Otáčky $n = 80\,000\text{ m/min}$, které byli rovněž použity při obrábění vzorků, bych nepoužíval vůbec. Jsou příliš vysoké a tím ve velké míře zatěžují břit řezného nástroje - frézy. Tím dochází k rychlému opotřebení řezného nástroje - frézy.

Kromě volby optimální hodnoty velikosti posuvu n bych naopak **zvýšil** posuv za minutu, který je u všech obráběných vzorků stejný. Navrhoval bych velikost posuvu za minutu upravit z $f_{min} = 1\,500\text{ m/min}$ na $f_{min} = 2\,000\text{ m/min}$ až $f_{min} = 3\,000\text{ m/min}$.

O změně hloubky řezu, které je nastavená na konstantní hodnotu tj. $0,2\text{ mm}$, bych neuvažoval. S přídatkem, který je dán výškou výsekového plechu je pak hloubka řezu $0,24\text{ mm}$.

| | |
|-----------------------------------|-----------------|
| Otáčky n [ot. /min] | 63 250 ÷ 80 000 |
| Posuv za minutu f_{min} [m/min] | 1 500 |

Tabulka 18: Původní řezné podmínky pro obrábění vzorků

Z navržených doporučení u bodu ad a) plynou tyto upravené řezné podmínky:

| | |
|-----------------------------------|-----------------|
| Otáčky n [ot./min] | 65 000 ÷ 75 000 |
| Posuv za minutu f_{min} [m/min] | 2 000 ÷ 3 000 |

Tabulka 19: Upravené řezné podmínky pro obrábění vzorků

Poznámka: hloubku řezu zachovat, řezné rychlost je ovlivněná velikost otáček

Tabulka 20, která je v porovnání s tabulkou 3 upravená podle bodu ad a), ukazuje upravené řezné podmínky tak, aby se docílilo lepšího výsledku při obrábění vzorků. V tabulce 20 je tedy zvýšen posuvu za minutu v závislosti na zvýšení velikosti otáček u dolní hranice a snížení velikosti otáček u horní hranice.

| | | | | | | |
|---|--------|-----------|------------|---------|---------------------|----------|
| Snížené otáčky n | Pořadí | n | f_{\min} | v_c | $v_{\text{cefek.}}$ | f_z |
| | | [ot./min] | [mm/min] | [m/min] | [m/min] | [mm/zub] |
| Zvýšený posuv za minutu f_{\min} | 1 | 65 000 | 2 000 | 613 | 61 | 0,031 |
| | 2 | 66 000 | 2 100 | 622 | 62 | 0,032 |
| | 3 | 67 000 | 2 200 | 631 | 63 | 0,033 |
| | 4 | 68 000 | 2 300 | 641 | 64 | 0,034 |
| | 5 | 69 000 | 2 400 | 650 | 65 | 0,035 |
| Zvýšené otáčky n | 6 | 70 000 | 2 500 | 660 | 66 | 0,036 |
| | 7 | 71 000 | 2 600 | 669 | 67 | 0,037 |
| | 8 | 72 000 | 2 700 | 679 | 68 | 0,038 |
| | 9 | 73 000 | 2 800 | 688 | 69 | 0,038 |
| | 10 | 74 000 | 2 900 | 697 | 70 | 0,039 |
| | 11 | 75 000 | 3 000 | 707 | 71 | 0,040 |

Tabulka 20: Navržené a upravené řezné podmínky podle bodu ad a)

Pokud by se nezlepšil výsledek obrábění, tak je možné dále upravit řezné podmínky tím, že se **sníží** velikost otáček v závislosti na **zvýšení** posuvu na minutu.

ad b) vylepšit strategii obrábění v CAM systému

V CAM systému bych zkrátil vyložení frézy, dále bych upravit nájezd a výjezd řezného nástroje - frézy do a z řezu a vylepšil strategii obráběné trajektorie v CAM systému.

Rovněž bych upravit jednotlivé řádky vytvořené v CAM systému. Úpravou těchto kroků by se mělo předejít ztrátám ve strojních časech a tím se vylepší (zkvalitní) obráběný povrch.

ad c) upravit - změnit řezný nástroj - frézu

Výměna řezného nástroje - frézy je další záležitostí (ovšem drahou), která zkvalitní obráběný povrch. Nicméně tady záleží na dohodě s dodavatelem.

Před výměnou řezného nástroje - frézy bych se zaměřil na způsob ostření a tím úpravu břitů řezného nástroje - frézy. V případě, že doporučené body nevylepší výsledek obrábění, navrhoval bych několik doporučení, které se týkají možnosti úpravy řezného nástroje - frézy.

Tyto doporučení jsou následující:

- 1) zohlednit **průměr řezného nástroje - frézy**
- 2) zaměřit se **materiál řezného nástroje - frézy**
- 3) kontrolovat **upnutí řezného nástroje - frézy**

ad 1) zohlednit průměr řezného nástroje - frézy

U tohoto bodu bych zvolil větší průměr řezného nástroje - frézy, který oproti malého průměru frézy ($\varnothing 3\text{ mm}$) je výhodnější z důvodu většího úběru materiálu. Průměr řezného nástroje - frézy bych zvolil minimálně větší o $\varnothing 1\text{ mm}$ tj. nový průměr řezného nástroje - frézy by měl hodnotu $\varnothing 4\text{ mm}$. Při obrábění se používá jiná typ řezného nástroje - frézy pro hrubování a pro obrábění na čisto, což bych také při volbě průměru frézy zohlednil.

ad 2) zaměřit se na materiál řezného nástroje - frézy

Materiál řezného nástroje - frézy je dán výrobcem frézy, konkrétně firmou Diamant - Gesellschaft sídlící v Berlíně. Problém, který nastává, je rozdílný materiál řezného nástroje - frézy a materiál výsekového plechu. Tímto může být v podstatě ovlivněn výsledek obrábění.

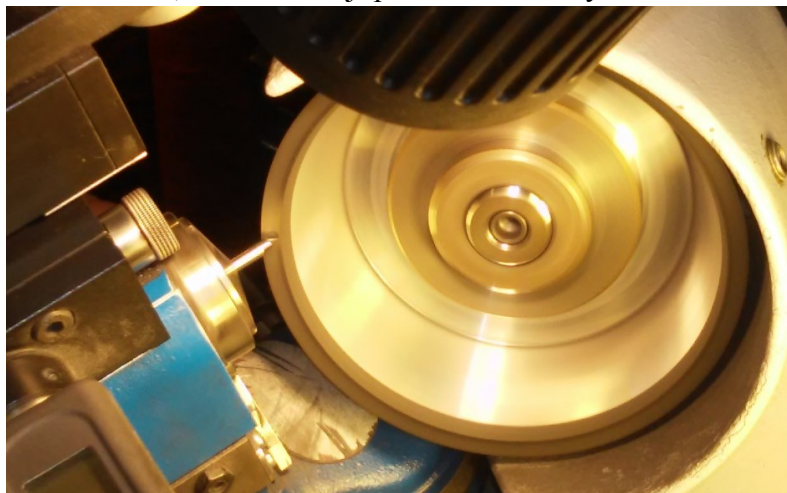
ad 3) kontrolovat upnutí řezného nástroje - frézy

Řezný nástroj - fréza je upínaná do kleštin CNC centra. Upínání řezného nástroje - frézy je dáno právě vlastností stroje. Z tohoto důvodu je nutné kontrolovat po určité době upnutí řezného nástroje frézy tak, aby nevznikali odchylky při obrábění.

ad d) zkvalitnit přebroušování původního řezného nástroje - frézy

Řezná geometrie řezného nástroje - frézy je velmi proměnlivá. Břit řezného nástroje - frézy má při každém přeostržení rozdílnou řeznou geometrii a tím má ovlivňuje výsledek obrábění.

Řezný nástroj - fréza se po každém obrábění ostří na brusce tak, aby zůstal vždy zachován ostrý břit. Ostření řezného nástroje - frézy je ovlivněno úhlem, pod kterým probíhá broušení a také materiálem brousícího kotouče. Pokud má řezný nástroj - fréza špatně nabroušený břit, tak ovlivní její geometrie výsledek obrábění. Výsledek obrábění mohou také ovlivnit vibrace, které vznikají při broušení frézy.



Obrázek 38: Přebroušování frézy

ad 4) *použít při hrubování a obrábění na čisto jiný průměr řezného nástroje - frézy (popřípadě použít řezný nástroj - frézu od jiného výrobce)*

V podstatě se jedná o podobný bod jako ad c) u ad 1), který upravuje volbu průměru řezného nástroje - frézy. U tohoto bodu bych nicméně zohlednil volbu řezného nástroje - frézy pro hrubování a obrábění na čisto. Při hrubování dochází k většímu úběru materiálu než při obrábění na čisto. Z toho vyplývá, že při hrubování bych volil větší průměr řezného nástroje - frézy. Průměr řezného nástroje - frézy může také ovlivnit výsledek obrábění.

Doporučil bych proto volit průměr řezného nástroje - frézy podle obráběného tvaru. Je také rozdíl v tom, jestli řezný nástroj - fréza obrábí obdélníkový tvar nebo jiný složitý tvar (hvězda a jiné tvary).

ad 5) *zkrátit vyložení řezného nástroje - frézy*

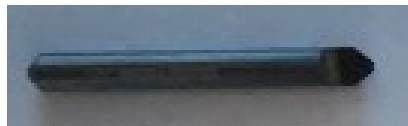
Zkrácení vyložení řezného nástroje - frézy má také zásadní vliv na výsledek obrábění. Platí, že čím je řezný nástroj - fréza více vysunuta z kleštin, tím více dochází při obrábění ke vzniku vibrací. Tyto vibrace ovlivňují poté výsledek obrábění.

V případě, že je řezný nástroj - fréza vysunuta z kleštin na $L = 40 \text{ mm}$ zkrátím bych hodnotu vyložení na $L = 30 \text{ mm}$. Vyložení řezného nástroje - frézy se pak může měnit v závislosti na toleranci stroje.

11. Návrh dalších druhů fréz pro obrábění

V nejmenované firmě se používá pro obrábění řezný nástroj - fréza zvlášť pro hrubování a pro obrábění na čisto. Z důvodu, že řezný nástroj - fréza může způsobovat vznik otřepů při obrábění, navrhol bych použít jiný druh frézy od jiného výrobce, které se liší jiným materiálem, způsob upnutí a profilem (tvarem) ostří.

Na obrázku 39 je původní typ řezného nástroje - frézy. Na dalších obrázcích (obrázku 40 a obrázku 41) jsou nové frézy, které jsou levnější, mají jiný břit (například ve tvaru šroubovice), mají rozdílnou délku pro upnutí v kleštině stroje. Doporučoval bych nové frézy vyzkoušet při obrábění zkušební série vzorku s upravenými řeznými podmínkami (tabulka 20).



Obrázek 39: Původní řezný nástroj - fréza

Výrobní značení nových fréz podle výrobce:

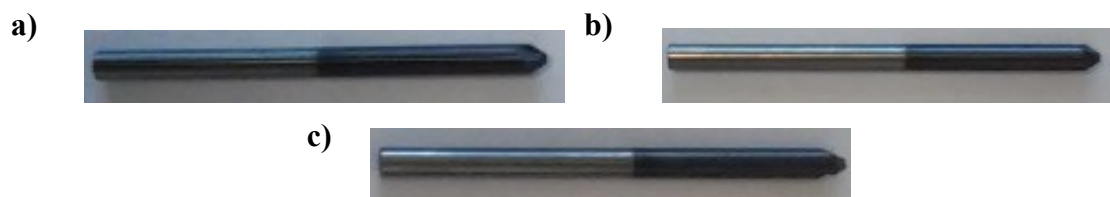
- a) ANAJ - 16813.0 - AC00200_87,845°_Z (plochá fréza)
- b) ANAJ - 16951.0 - AC00200_87,845°_Z (fréza ve tvaru šroubovice)



Obrázek 40: Frézy ANAJ s vrcholovým úhlem 87,845°

Výrobní značení nových fréz podle výrobce:

- a) MONOMETAL 03/70° SK - 0 (fréza ve tvaru šroubovice)
- b) MONOMETAL 03/70° SK (fréza ve tvaru šroubovice)
- c) MONOMETAL 03/70° SK - P (fréza ve tvaru šroubovice)



Obrázek 41: Frézy MONOMETAL s vrcholovým úhlem 70°

Obrázek 42 ukazuje porovnání původního řezného nástroje - frézy s novými frézami. Důležité je také to, že nové frézy mají kromě rozdílné geometrie taky větší délku, což může být problém pro upnutí v kleštinách CNC centra.



Obrázek 42: Porovnání jednotlivých řezných nástrojů - fréz

12. Závěr

Cílem diplomové práce bylo navrhnout řezné podmínky a navrhnout doporučení pro obrábění vzorků, které zkvalitní výsledek obrábění, vylepší řeznou hranu a zmenší výskyt vzniku otřepů po obrábění. Pro tyto účely bylo na vzorcích provedena vizuální kontrola a kontrola geometrické přesnosti. Vyhodnocené výsledky vizuální kontroly se porovnali s kontrolou geometrické přesnosti.

Z vyhodnocených kontrol vyplývají tyto následující doporučení. Při obrábění vzorků vznikala problém s obráběnou řeznou hranou. Z tohoto důvodu bylo nutné upravit řezné podmínky. Došlo ke zvýšení řezné rychlosti na $n = 65\,000 \div 75\,000 \text{ ot./min}$, zvýšení posuvu za minutu na $f_{min} = 2\,000 \div 3\,000 \text{ m/min}$. Včetně úpravy řezných podmínek byly navrženy také další doporučení pro obrábění vzorků. Mezi tyto doporučení patří vylepšit strategii obrábění v CAM systému, upravit - změnit řezný nástroj - frézu, zkvalitnit přebroušování řezného nástroje - frézy, použít při hrubování a obrábění na čisto jiný průměr řezného nástroje - frézy, zkrátit vyložení řezného nástroje - frézy.

Mimo jiné je nutné se také kromě úpravy řezných podmínek zaměřit na typ frézy. Tyto faktory mohou způsobovat vzniku otřepů při obrábění. Z tohoto důvodu je nutné se na tyto faktory zaměřit a eliminovat je. Kromě těchto faktorů je další možností použít nový typ stroje, který rovněž zkvalitní výsledek obrábění a umožní rychlejší výrobu. Tyto uvedené doporučení včetně úpravy řezných podmínek pro obrábění vzorků je nutné vyzkoušet ve firmě při obrábění zkušební série vzorků. Až po obrábění zkušební série vzorků se dále vyhodnotí výsledky, které se musí při výrobě zohlednit tak, aby se zabránilo vzniku otřepů po obrábění.

Firma, ve které byly prováděny experimenty, si nepřije bez dalšího souhlasu zveřejňovat další údaje a ani nijak rozšiřovat výsledky uvedené v diplomové práci.

13. Seznam použité literatury

- [1] Eson. Výsekové nástroje. Flexibled dies. [online]. [cit. 2015-03-13]. Dostupné z: Dostupné z: <<http://www.eson.cz/>>
- [2] Eluvio. Výsekové nástroje. Flexibled dies. [online]. [cit. 2015-03-12]. Dostupné z: <<http://vyseky.cz/>>. <<http://www.eluvio.cz/>>
- [3] Karel Kaňák. Výsekové nástroje. Flexibled dies. [online]. [cit. 2015-03-13]. Dostupné z: <<http://www.kanakcz.cz/>>
- [4] EUROFORM Group. Výsekové nástroje. [online]. [cit. 2015-03-13]. Dostupné z: <<http://www.euroformcz.com/cs/vyrobni-program>>
- [5] Grafoservis. Výsekový plech. [online]. [cit. 2015-03-13]. Dostupné z: <http://www.grafoservis.cz/emdata/productfile/218_V%C3%BDsekov%C3%BD%20plech.jpg>
- [6] Eson. Výsekové plechy. Postup instalace [online]. [cit. 2015-03-13]. Dostupné z: <<http://www.tremcinsky.com/img/eson.pdf>>
- [7] Grafoservis. Návod. Jak postupovat při výseku. [online]. [cit. 2015-03-13]. Dostupné z: <http://www.grafoservis.cz/emdata/productfile/949_Postup%20p%C5%99i%20v%C3%BDseku.pdf>
- [8] SADÍLEK, Marek. Nekonvenční metody obrábění I. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2009, 146 s. ISBN 978 - 80 - 248 - 2107 - 8.

- [9] HUMÁR, A. Technologie I. Technologie obrábění 3. Část. Interaktivní a multimediální text pro bakalářský a magisterský studijní program. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 2005. 51 s. [online]. [cit. 2015-03-13]. Dostupné z
<http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=18215>
- [10] MM Spektrum. Nekonenční metody obrábění. Chemické obrábění [online]. [cit. 2015-03-13]. Dostupné z:
<<http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-2-2.html>>
- [11] Fréza Tesch. Výsekové plechy. Německo [online]. [cit. 2015-03-13]. Dostupné z:
<<http://www.diamanttesch.de/>>
- [12] Stereomikroskop DM-143-FBGG. Digital Microscope. Digital Stereo Microscop. [online]. [cit. 2015-03-13]. Dostupné z:
<http://www.motic.com/As_digital_stereo_microscope/product_205.html>
- [14] Motic Images Plus 2.0. Software. Routine Software Series. [online]. [cit. 2015-03-13]. Dostupné z:
<http://www.motic.com/As_microscope_software_r/product_230.html>
- [14] Optický profilometr MircoProf FRT. MircoProf. [online]. [cit. 2015-03-13]. Dostupné z: <<http://www.frt-gmbh.com/en/MicroProf-100.aspx>>
- [15] SPIS 6. 2. 6. SPIP [online]. [cit. 2015-03-13]. Dostupné z: <<http://www.imagemet.com/>>

14. Seznam příloh

Vizuální kontrola

Příloha č. 1: Stereomikroskop DM 143 FBGG

Příloha č. 2: Technické parametry stereomikroskopu DM 143 FBGG

Příloha č. 3: Dokumentace vnitřní strany vzorků

Příloha č. 4: Dokumentace vnější strany vzorků

Kontrola geometrické přesnosti

Příloha č. 5: Dokumentace vizualizace střižné hrany vzorků

Příloha č. 6: Dokumentace 3D modelu profilu vzorků

Příloha č. 7: Dokumentace mapy výškových nerovností profilu vzorků

Výkresy fréz

Příloha č. 8: Fréza ANAJ - 16813.0 - AC00200_87,845°_Z

Příloha č. 9: Fréza ANAJ - 16951.0 - AC00200_87,845°_Z